Beiträge zur Frage der Funktionsschichten im Sehen, mit besonderer Rücksicht auf das Purkinjesche Phänomen

---

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen Philosophischen Fakultät
der Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Wilhelm Stallmann
aus Goslar

Marburg 1928

1928
Johann Ambrosius Barth / Leipzig

Als Dissertation angenommen am 10. April 1925.

Berichterstatter: Herr Professor Dr. E. Jaensch.

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 1925.

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

Diese Arbeit erscheint gleichzeitig in der *Zeitschrift für Psychologie*
Band 106, Heft 3/6 (1928).
Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig

1. Kapitel

Ausgangspunkt, Fragestellung und zugrundeliegende Arbeitshypothese

In verschiedenen lebenswissenschaftlichen Disziplinen, insbesondere in denen, die vom Menschen handeln, setzt sich immer mehr die Auffassung durch, dafs für das Studium der hochentwickelten Funktionen die genetische Betrachtung und die Berücksichtigung der Entwicklungsfrühformen sehr aufschlufsreich ist. Die menschliche Natur strebt, wie man auf Grund neuerer Forschungen zusammenfassend sagen kann, ausgehend von einer in bezug auf Innen- und Aufsenwelt, Geist und Körper undifferenzierten Ursprungsform zu einer immer gröfseren Differenzierung und Trennung dieser, eine

Tatsache, die auf psychologischem Gebiet, besonders auch in den Untersuchungen des Marburger Instituts hervorgetreten ist. Ganzheitlich und rein atomisierenden Vorstellungsweisen in gewissem Sinne entgegengesetzt ist das hierbei sich ergebende Bild deshalb, weil diese verschiedenen Funktionsschichten selbst schon in sich geschlossene Systeme sind; Systeme von Anteilen, die in sich zusammenhängen, unter Umständen über sehr zahlreiche und verschiedenartige anatomische Einheiten hinübergreifen und auch einheitlich und zusammen eingeschaltet werden. Man kann hierbei nicht umhin, auch auf den verwandten und schon vor langer Zeit von v. Kries in ähnlichem Sinne benutzten Begriff der „Einstellung" hinzuweisen.[1] Wenn W. Jaensch[2] eine solche gemeinsame Einschaltung einheitlicher und zusammenhängender Reaktionsschichten für das pathologische Gebiet nachgewiesen hat, so soll hier im sinnespsychologischen Versuch gezeigt werden, daſs eine Einschaltung [oder „Einstellung" (im Sinne von v. Kries) zusammengehöriger Funktionsschichten] auch normalerweise eine Rolle spielt und für das Verständnis des normalen Funktionsablaufs beachtet werden muſs.

Für den Bereich des höheren Seelenlebens ist auf die Schichtenstruktur des Bewuſstseins u. a. auch von A. Storch[3] hingewiesen worden. Storch nimmt an, daſs unter dem Einflusse des Abbaus, der in der Schizophrenie erfolgt, archaisch-primitive Schichten in Erscheinung treten. Diese Lehre vom archaisch-primitiven Denken der Schizophrenen ist nun aber keineswegs unbestritten, und in der Tat wird es immer nahe liegen, ihr gegenüber den Einwand zu erheben, daſs trotz mancher zuzugebender Analogien Schizophrene ihrem Verhalten nach doch eben nicht Primitive sind. Daſs aber das Denken überhaupt ein Schichtensystem dar-

---

[1] J. v. Kries, Über die Natur gewisser mit den psychischen Vorgängen verknüpfter Gehirnzustände. *Ztsch. f. Psychol.* 8. 1895.

[2] W. Jaensch, Grundzüge einer Physiologie und Klinik der psychophysischen Persönlichkeit. Berlin 1927, J. Springer.

[3] A. Storch, Das archaisch-primitive Erleben und Denken der Schizophrenen. Monographien aus dem Gesamtgebiete der Neurologie und Psychiatrie, herausgeg. v. O. Foerster u. K. Wilmanns. Heft 32. Berlin 1922.

stellt, ist allerdings zutreffend und ergab sich auch als Ertrag der (noch unveröffentlichten) experimentellen Arbeiten des Marburger Instituts zur Denkpsychologie. Namentlich aber auch schon in den eidetischen Untersuchungen ist die Schichtenstruktur unsererer psychophysischen Organisation deutlich erkennbar geworden, da diese Untersuchungen den eingehenden Nachweis erbracht haben, daſs das Gedächtnis einen stufenförmigen Aufbau besitzt. Anschauungsbilder und Vorstellungsbilder stellen hierbei nach den hiesigen Untersuchungen die Hauptstufen dar, die aber durch gleitende Übergänge miteinander verknüpft sind und darum nicht ein diskontinuierlich-staffelförmiges, sondern ein kontinuierlich-aufsteigendes System von Schichten darstellen.

Namentlich im Nerven- und Geistesleben verhält es sich nun vielfach so, daſs das Frühere im Späteren „aufgehoben" bleibt und in ihm gleichsam fortlebt. Es sind dann auch im Späteren die früheren Schichten noch wirksam und erkennbar, so wie etwa ein geologisches Profil die Zeugen älterer Phasen der Erdgeschichte erkennen läſst. Von den verschiedensten Seiten her wird diese Tatsache deutlich, und in mannigfachen Forschungs- und Interessenzweigen, die das Nerven- und Seelenleben zum Gegenstand haben, ist dieser Sachverhalt hervorgehoben worden. Schon der ganz allgemeine und verbreitete Tatbestand des Gedächtnisses zeugt von diesem Fortleben des Früheren im Späteren. Für die Geschichte und Kulturentwicklung betonte Hegel dieses Aufgehobensein der Vergangenheit in den Folgezeiten; für die Erziehungslehre suchte diesen Tatbestand die Herbart-Zillersche Kulturstufentheorie auszuwerten, in ihrer Anschauung, daſs jeder Mensch in der Kindheit und Jugend die älteren Kulturstufen durchschreite, so daſs diese gleichsam immer wieder von neuem Auferstehung feiern. Gundolf, der die Art Stefan Georges mit uralten Beständen magischen Geisteslebens, mit den Beschwörungsformeln und den Merseburger Zaubersprüchen vergleicht, lehrt im Anschluſs hieran, daſs im Dichter die älteren Entwicklungsstufen des Geistes wiederaufleben und daſs gerade der groſse Dichter auf die ältesten Schichten zurückgreife. So weit vielleicht die Erforschung des Zentralnervensystems von diesen geistesphilosophischen Ge-

dankenreihen abzuliegen scheint, so sind doch auch in diesem Gebiete, das es mit den materiellen Korrelaten des Bewufstseins zu tun hat, ganz entsprechende Gesichtspunkte hervorgetreten. Namentlich L. Edinger, der grofse Meister der Hirnforschung, hat hier immer wieder hervorgehoben, dafs sich die Hirnentwicklung in weitem Umfang in der Weise vollzieht, dafs das ursprünglich Vorhandene, und überhaupt das Frühere, durch neu Hinzukommendes überbaut wird, das Frühere also im Späteren fortexistiert. Die Entwicklung zeigt so auch in besonderem Mafse den Charakter des Ökonomischen, der ja auch als ein Grundzug des geistigen Lebens des öfteren und gelegentlich sogar in einseitiger Übertreibung[1] hervorgehoben worden ist. Das schon Vorhandene wird nicht völlig aufgehoben und umgebaut, sondern nur überbaut. Wenngleich am Zentralnervensystem am ausgeprägtesten, so zeigt sich doch dieser Stufenbau der Funktionsschichten auch sonst im psychophysischen Organismus des Menschen; er erfährt auch in der Pathologie zunehmende Berücksichtigung. Nachdem schon von P. Janet und anderen, besonders von A. Pick und R. Sommer nebst ihren Schülern, verwandte Gesichtspunkte vertreten worden waren, hat neuerdings besonders eingehend W. Jaensch[2] den Nachweis zu

---

[1] In den ausschliefslich auf das Ökonomieprinzip aufgebauten Systemen der Erkenntnistheorie, die bei aller Einseitigkeit und Übertreibung einen richtigen Kern enthalten.

[2] W. Jaensch, Grundzüge einer Physiologie und Klinik der psychophysischen Persönlichkeit. Berlin 1927, J. Springer. — Wie sehr diese Gesichtspunkte heute in der Luft liegen, dafür spricht, dafs gleichzeitig mit den eindringenden, an konkretem Material durchgeführten Untersuchungen der eben erwähnten Monographie auch A. Storch den Versuch gemacht hat, durch Zusammenstellung von Angaben aus der bisherigen Literatur Entsprechendes zu erweisen. Einige Sätze aus dem Sammelreferat von Storch seien, da sie den allgemeinen Charakter dieser Forschungsrichtung mit treffenden Worten kennzeichnen, angeführt: „In der Biologie verläfst man mehr und mehr den Gedanken, dafs der „Körper nichts als ein Aggregat, eine Kolonie von Zellen sein könne. „Man sieht in ihm eine lebendige Totalität von mannigfach in- und „übereinander geschichteten Systemen, einen stufenartigen Bau von „Gliederungen niederer und höherer Ordnung. Diese synthetische Be„trachtungsweise will erweisen, dafs alle Entwicklung auf bestimmte „Synthesen zurückgeht, durch welche die Natur in Systemen steigender

führen gesucht, dafs sich wichtige klinische Symptombilder aus der Einschaltung oder Einstellung der in der Persönlichkeit bereitliegenden Funktions- und Reaktionsschichten erklären.

Hier werden nun die entsprechenden Fragen im Gebiete der normalen psychophysischen Organisation verfolgt, wo wir den Vorteil haben, den in jedem Falle sichersten Erfahrungsweg, das Experiment, benutzen zu können. Das hierbei Gefundene steht, wie vorweg gesagt werden mag, mit dem oben Angeführten in Einklang, so dafs beide Tatsachenkreise einander gegenseitig sichern und stützen.

Es war oben schon von psychophysischen Schichten die Rede, darunter auch von solchen, die einer experimentellen Untersuchung zugänglich sind. In den oben erwähnten Fällen handelte es sich um Gebiete, die dem höheren oder doch mittelhohen Bereich der psychophysischen Organisation angehören. Von grofsem Interesse ist nun die Frage, wie weit diese Schichtenstruktur, die sich im höher-seelischen Geschehen ganz sicher findet, nach unten hinabreicht. In dieser Hinsicht ist vor allem die Frage von Belang, ob sich schon im Gebiete der Sinnesempfindungen eine solche Schichtenstruktur nachweisen läfst. Dafs dies der Fall sei, darauf weisen schon die Ergebnisse der Hirnforschung mit einiger Wahrscheinlichkeit hin. So schreibt von Monakow [1], indem er wichtige Resultate seiner Forschungen folgendermafsen zusammenfafst: „Ein als einheitliches Erlebnis imponierender Akt wie das Sehen baut sich hirnphysiologisch aus einer grofsen

---

„Ordnung sich heraufarbeitet bis zu der vollendeten Totalität des Ge„schöpfes. So entstehen im stufenweisen Aufstieg aus undifferenzierten „immer reicher und feiner gegliederte Systeme. Durch die zunehmende „Unähnlichkeit der Teilsysteme und deren Eingliederung in einen „hierarchischen Aufbau unterscheidet sich, wie bereits Goethe in der „Einleitung zur Morphologie ausgeführt hat, das vollkommenere vom „unvollkommeneren Geschöpf.“ Auch auf in ganz anderem Zusammenhang gemachte, aber doch verwandte Ausführungen von H. Werner, Über den primitiven Geist, Ursprünge der Lyrik, 1923 und M. Heidenhain, Formen und Kräfte in der lebendigen Natur (Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmech. d. Organismen. Heft 92, 1923) sei hier noch hingewiesen.

[1] C. v. Monakow, Lokalisation im Grofshirn. Wiesbaden 1914.

Reihe von Funktionskomponenten auf, die verschiedenen Entwicklungsstufen zugehören und erst in ihrem Zusammenwirken die bewufste Lichtempfindung, die wir als Sehen bezeichnen, zustande bringen." In der Tat unterscheidet Richard Hesse[1] eine ganze Reihe mehr oder weniger weit entwickelter Funktionen des Gesichtssinnes, die bei uns von der einfachsten zur kompliziertesten fortschreitend die Empfindung 1. der diffusen Helligkeit, 2. der Richtung, aus der Licht kommt, 3. der Bewegung eines Gegenstandes, 4. der Entfernung eines Objekts, 5. der Form und der Konturen eines Dinges verursachen.

In der vorliegenden Arbeit wollen wir uns mit dem Schichtensystem, das sich beim Gesichtssinn findet, befassen. Es hat sich ja gezeigt, dafs die Entwicklung der später entwickelten, jüngeren Funktionen in weitem Umfang in der Weise erfolgt, dafs die älteren nicht einfach ausgeschaltet, sondern nur von höheren überbaut werden, aber unter geeigneten Umständen wieder in Funktion treten können (E. u. W. Jaensch[2], A. Kobusch[3]). Nach Analogie schon vorliegender Untersuchungen auf anderen Gebieten der menschlichen Psychophysiologie, die diesen Tatbestand aufweisen, ergeben sich für den Gesichtssinn folgende Fragen:

Welches sind solche Umstände, die eine Einschaltung primordialer Schichten unseres Gesichtssinnes veranlassen? und

Wodurch macht sich die erfolgte Einschaltung einer niederen Sphäre des Gesichtssinns bemerkbar?

Auf diese beiden Fragen an einzelnen Punkten an der Hand eigener Untersuchungen und der vorliegenden Literatur Antwort zu geben, ist der Zweck dieser Arbeit. Eine Arbeitshypothese, von der wir uns bei den Versuchen haben leiten lassen und die sich dabei recht gut bewährt hat, läfst sich kurz so ausdrücken:

---

[1] R. Hesse, Das Sehen der niederen Tiere. Jena 1908, G. Fischer.

[2] E. R. und W. Jaensch, Über einfache psychische Vorgänge und somatische Korrelaterscheinungen im Training und nach sportlicher Leistung. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturwiss. zu Marburg 1925.

[3] A. Kobusch, Nachweis der Gedächtnisstufen im Vorstellungsleben normaler Erwachsener. Phil. Inaug.-Diss. Marburg 1920.

I. Einschaltung primordialer Funktionsweisen erfolgt bei funktionellem oder organischem Abbau der höheren Schichten, eine Auffassung, die für das Zentralnervensystem mit besonderem Nachdruck von A. Pick[1] vertreten worden ist. Hier wird diese Arbeitshypothese in analoger Weise für das Gebiet des Gesichtssinns aufgestellt und geprüft.

II. Einschaltung primordialer Schichten erfolgt, wenn unter konstant wiederkehrenden Bedingungen die erst auf höherer Stufe ausgebildeten Funktionen nicht in Betracht kommen und keine Gelegenheit haben, sich zu betätigen. Dagegen setzen sich die Funktionsweisen der höheren Schichten stets dann durch, wenn das Auge vor Aufgaben gestellt ist, die nur von diesen bewältigt werden können.

Diese Einstellung des Auges auf Reaktionsweisen höherer oder niederer Stufe erfolgt natürlich ohne ein Bewufstsein hiervon, ganz so wie bei den adaptiven Vorgängen.

Wann haben wir nun aber solche Fälle zu vermuten?

Nach Analogie schon vorliegender Untersuchungen (worüber Literaturnachweise weiter unten folgen werden) kann man für den Gesichtssinn dieser Frage mit folgender Arbeitshypothese nähertreten:

I. Ein Abbau der höheren Schichten des Gesichtssinns, ein zeitweiliges Ausfallen derselben, erfolgt im Zustand hochgradiger Ermüdung, eine Erscheinung, die uns um so mehr verständlich sein würde, als ja auch z. B. im Schlafzustand alle höheren Schichten — die Bewufstseinsvorgänge — ausfallen, während die Verrichtungen des vegetativen Nervensystems, das im Laufe der Entwicklung viel früher als das zentrale ausgebildet wird, aufrecht erhalten bleiben.[2]

---

[1] A. Pick, Über eine eigentümliche Sehstörung senil Dementer. Festschr. f. R. Frhr. v. Krafft-Ebing 1902. — Derselbe, Die neurologische Forschungsrichtung in der Psychopathologie. Berlin 1921.

[2] Bemerkenswert ist, dafs sich nach einer gut begründeten Anschauung die Neuerung des vegetativen Nervensystems in den subkortikalen Zentren befindet. Auch diese treten viel früher auf als das Grofshirn und werden deshalb von L. Edinger im Unterschied zum Grofshirn

Auch P. Janet[1] benutzte bereits die Erschöpfung, um psychische Funktionen nach Schwierigkeitsstufen zu ordnen. Dem liegt offenbar der Gedanke zugrunde, dafs in der Erschöpfung allein diejenigen Funktionen vorhanden sind, die im Organismus am tiefsten verankert liegen und die wohl auch im allgemeinen mit den entwicklungsgeschichtlich ältesten zusammenfallen dürften; die weniger tief verankerten und in der Entwicklung jüngeren Funktionen sind dann bereits dem Abbau verfallen. Auch hier liegt, ebenso wie in zahlreichen Arbeiten von A. Pick, die Anschauung zugrunde, dafs die entwicklungsgeschichtlich jüngeren Funktionsweisen einem Abbauprozefs irgendwelcher Art zuerst erliegen. Dieser Abbau höherer Schichten im Zustand der Erschöpfung wurde auch durch die während des akademischen Olympias hier von E. und W. Jaensch vorgenommenen Untersuchungen wahrscheinlich gemacht. Es zeigte sich nämlich, dafs im Zustande der Ermüdung die in der Konstitution am tiefsten verankerten Komponenten, besonders die Merkmale des entwicklungsgeschichtlich primordialen T-Komplexes, stark hervortreten.[2]

II. Eine Ausschaltung der höheren Schichten müfste erfolgen, wenn eine schlechte Formenerkennbarkeit eine Einstellung des Auges auf primordiale Reaktionsschichten hervorruft, in denen die hohe und späte Leistung des Formerkennens noch nicht vorkommt. Schlechte Formerkennbarkeit zeigt sich aber z. B.

1. im Dämmerungssehen gegenüber dem Tagessehen,
2. im seitlichen Sehen gegenüber direkter Betrachtung,
3. bei momentaner Betrachtung gegenüber längerdauernder Betrachtung,
4. bei blauer Beleuchtung gegenüber roter Beleuchtung.

Umgekehrt folgt aus unserer Arbeitshypothese, dafs beim Vorhandensein guter Formerkennbarkeit auch eine Einstellung des Auges auf die Reaktionsweisen der höheren Stufe sich durchsetzen müfste.

---

das er Neenzephalon nennt, als Paläenzephalon bezeichnet (L. Edinger, Beziehungen der vergleichenden Anatomie zur vergleichenden Psychologie. Im Bericht über den III. Kongrefs f. exp. Psychol. 1908).

[1] P. Janet, Les obsessions et la psychasthénie. Paris 1902.

[2] E. R. u. W. Jaensch, a. a. O.

Alles dies wird hier zunächst nur als Arbeitshypothese hingestellt.

Zur Beantwortung der zweiten Frage nach dem Kennzeichen der erfolgten Einschaltung primordialer Schichten des Auges hat Broer[1] in seiner unter Leitung von Jaensch durchgeführten Arbeit dadurch ein sicheres Merkmal gewonnen, dafs er in eigenen experimentellen Untersuchungen und durch verschiedene Belege aus der Literatur den Nachweis führt, wie im Tagessehen und im Dämmerungssehen zwei verschiedene Entwicklungsschichten vorliegen und das Purkinjesche Phänomen, d. h. die erhöhte Empfindlichkeit für die kurzen Wellenlängen, einer primordialen Stufe der Entwicklung entspricht. Broer fafst das in die Worte: „Das Purkinjesche Phänomen ist eine Rückkehrerscheinung zu einer primitiven Stufe des Sehens.“ Das deckt sich mit der allgemein herrschenden Ansicht, dafs das Stäbchensehen, mit dem ja das Purkinjesche Phänomen in Zusammenhang gebracht wird, gegenüber dem Zapfensehen als das entwicklungsgeschichtlich ursprünglichere gilt. Eine bestimmte Anschauung über die Bedeutung des Dämmerungssehens und damit auch des Stäbchensehens wird in einer späteren Arbeit v. E. Jaensch entwickelt. Wie es mit dem Recht dieser Anschauung auch stehen mag, jedenfalls würden wir also im Purkinjeschen Phänomen einen Test für die erhöhte Einschaltung primordialer Funktionsschichten unseres Auges besitzen.

Andererseits sahen wir bereits, dafs das Bewegungssehen schon auf einer früheren Stufe auftritt als das Formenerkennen. In der Tat bezeichnet es S. Exner[2] als eine der primitivsten Eigenschaften des menschlichen Auges, Bewegungen wahrzunehmen. Es zeigte sich, dafs die Richtung räumlich und zeitlich kurzer Bewegungen noch empfunden wird, wenn der Anfangs- und Endpunkt der Bewegung räumlich bzw. zeitlich nicht mehr gesondert aufgefafst werden kann. Es ergibt sich daraus, dafs das Auge

[1] Broer, Das Purkinjesche Phänomen im Anschauungsbild und Nachbild. Inaug.-Dissert. Marburg 1922.

[2] S. Exner, Sehen von Bewegungen. Wiener Akademie. Abt. 3, Bd. 72, 1895.

für Bewegungsvorgänge empfindlicher ist als für Orts- bzw. Zeitdifferenzen.

Somit wäre anzunehmen, dafs mit der Einschaltung primordialer Schichten unseres Auges stets eine erhöhte Bewegungsempfindlichkeit verbunden ist und zugleich — nach Untersuchungen von Broer und Jaensch — eine gesteigerte Empfindlichkeit für kurze Wellenlängen. — Alles dies wird, wie gesagt, zunächst nur als Arbeitshypothese hingestellt, die noch zu prüfen sein wird.

Es würde aber nicht schwer sein, diese Zusammenhänge auch biologisch zu erklären. Exner tut dies in bezug auf die Bewegungsempfindlichkeit, indem er auf die lebenswichtige Bedeutung hinweist, die gerade die Wahrnehmung von Bewegungen der dem Lebewesen nahenden Feinde besitzen mufs. — Für die biologische Deutung des auf die besondere Ausnutzung des kurzwelligen Lichtes eingestellten Dämmerungssehens sei auf die nachfolgende Arbeit von E. Jaensch verwiesen.

Mag nun die daselbst gegebene biologische Deutung zu treffen oder nicht, jedenfalls haben wir zu vermuten: bei Abbau der höheren Schichten bzw. bei Einstellung des Auges auf primordiale Reaktionsweise infolge geringerer Anforderungen an die höheren Schichten: eine gute Wahrnehmung von Bewegungen und eine dem Purkinjeschen Phänomen entsprechende Helligkeitsverteilung. Dies ist zu erwarten bei hochgradiger Ermüdung bzw. schlechter Formenerkennbarkeit.

Andererseits müfste sich bei Einstellung des Auges auf Reaktionsweisen höherer Ordnung infolge gröfserer an das Auge gestellter Anforderungen eine weniger bevorzugte Bewegungswahrnehmung und ein Abrücken der Helligkeitsverteilung von der dem Purkinjeschen Phänomen entsprechenden bemerkbar machen. Dies müfste im Zustand vollständiger Frische bzw. bei guter Formenerkennbarkeit der Fall sein.

Je höher (geringer) die an das Auge gestellten Anforderungen sind, um so mehr werden nach unserer Arbeitshypothese die höheren (niederen) Schichten hervorzutreten, die niederen (höheren) zurückzutreten haben.

Wir sind verpflichtet, hier wenigstens noch kurz auf eine im allgemeinen recht gut gestützte Erklärung der Er-

scheinungen des Dämmerungssehens und indirekten Sehens einzugehen und unseren Standpunkt hierzu darzulegen: auf die von Kriessche Duplizitätstheorie, die durch Annahme eines farbenblinden Dämmerungsapparates, der Stäbchen, und eines farbentüchtigen Hellapparates, der Zapfen, in der Tat sehr viele Erscheinungen des Dämmerungssehens und indirekten Sehens erklärt. Es hat sich jedoch gezeigt, dafs sie offenbar nicht für alle derartigen Erscheinungen ganz ausreichend ist. C. v. Hess[1], Katz und Révész[2] konnten zeigen, dafs das Purkinjesche Phänomen auch bei Tagvögeln (Hühnern) vorkommt, obwohl diese nahezu reine Zapfenseher sind, so dafs hier eine Deutung des Purkinjeschen Phänomens unter Berufung auf den Stäbchenapparat alle Wahrscheinlichkeit gegen sich haben würde. Neuerdings konnte sogar von Reichner[3] nachgewiesen werden, dafs Hühner nicht einmal die sog. „Hühnerblindheit" zeigen, dafs sie sich vielmehr an Dunkelheit sogar sehr schnell adaptieren. „Hühner zeigen schnellere Momentadaptation als Hühnerblinde — sind nicht hühnerblind". Auch aus diesem Grunde kann eine Erklärung der Adaptation durch Berufung auf den Stäbchenapparat nicht für alle Fälle als ausreichend angesehen werden. Es besteht die gegründete Vermutung, dafs beim Dämmerungssehen, — wie wir oben sagten —, eine primordiale Funktionsschicht unseres Sehorgans eingeschaltet wird, von der das Stäbchensehen nur eine Teilfunktion ist. Auch Broer zeigte im hiesigen Institut, dafs das Purkinjesche Phänomen unter Bedingungen auftreten kann, unter denen eine Mitwirkung des Stäbchensehens nicht in Betracht kommt. Es liegt daher die Annahme nahe, dafs die Duplizitätstheorie zwar richtig, aber erweiterungsbedürftig ist, indem für „Stäbchen" und „Zapfen" „ältere" bzw. „jüngere Funktionsschichten" gesagt werden mufs, wobei ältere Funktionsschichten nicht nur aus Stäbchen, jüngere nicht nur aus Zapfen bestehen, sondern zu den älteren auch bestimmte nervöse und zentrale Vorgänge, zu

[1] v. Hess, Vergleichende Physiologie des Gesichtssinns. Jena 1912

[2] Katz u. Révész, Untersuchungen an Hühnern. *Zschr. f. Psychol.* **50**, 1909.

[3] Farbige Umstimmung und Momentadaptation der Hühner. *Zschr. f. Psychol.* **96**, 1924.

den jüngeren ebenfalls nervöse und zentrale Vorgänge, aber anderer Art, zu rechnen sind.

Die Stäbchenfunktion würde also, zusammen mit bestimmten zentralen Vorgängen, zu einem jener oben erwähnten geschlossenen Systeme gehören, zu einer bestimmten Reaktionsart, an der ganz verschiedene anatomische Einheiten, auch solche des Zentralnervensystems, beteiligt sind. Die Zapfenfunktion würde, zusammen mit bestimmten zentralen Vorgängen, ein anderes geschlossenes Reaktionssystem, eine andere Reaktionsart darstellen. Jedes dieser Systeme wird unter bestimmten äufseren Bedingungen eingeschaltet. Die Stäbchenfunktion nebst ihren Korrelaten im Zentralnervensystem wird unter den äufseren Bedingungen des Dämmerungssehens, die Zapfenfunktion unter denen des Tagessehens eingeschaltet. In beiden Fällen handelt es sich um etwas ganz ähnliches wie bei der „Einstellung" im Sinne von v. Kries. Die Einschaltung dieser zusammengehörigen Reaktionssysteme kann von verschiedenen Stellen her erfolgen, von der Peripherie her oder auch vom Zentralnervensystem aus. Erfolgt die Einschaltung des Dämmerungssehens von der zentralen Seite aus, dann brauchen die Stäbchen gar nicht mitzuarbeiten, und das Purkinjesche Phänomen wird trotzdem auftreten können. (So ist es bei den Versuchen von Broer, und ebenso bei denen der vorliegenden Arbeit; denn auch die Ermüdung, deren Einfluſs hier untersucht wird, wird vor allem am Nervensystem angreifen.) Die zentralen Anteile des Dämmerungssystems sind ja eingeschaltet, und das genügt, um die Besonderheiten der Empfindungen auftreten zu lassen, die wir unter dem Namen „Purkinjesches Phänomen" zusammenfassen. Denn der zentrale Anteil des Nervensystems enthält eben auch die „psychophysischen Prozesse", d. h. diejenigen Prozesse im Zentralnervensystem, die das materielle Korrelat der Lichtempfindungen sind. Die Beschaffenheit der Empfindungen hängt nur von diesem Anteil des „Dämmerungssystems", nur von den psychophysischen Prozessen ab. Ist dieser Anteil des Systems eingeschaltet, so sind die für das Purkinjesche Phänomen charakteristischen Empfindungen da, ob nun die peripheren Anteile dieses Systems — die Stäbchen — mitarbeiten oder nicht. So werden auch die Ergebnisse von Katz und Révész

sowie die von v. Hess erhaltenen Befunde verständlich, wonach das Purkinjesche Phänomen auch bei Organismen vorkommt, die der Stäbchen entbehren. Das „Dämmerungssystem“ in seinen zentralnervösen und psychophysischen Anteilen haben eben auch sie. Darum sehen sie die Erscheinungen des Purkinjeschen Phänomens ebenso wie wir und zwar unter denselben Bedingungen, nämlich unter denen der herabgesetzten Beleuchtung. Auch bei ihnen wird, ganz wie bei uns, bei herabgesetzter Beleuchtung das „Dämmerungssystem“ eingeschaltet, oder die „Einstellung“ auf Dämmerungssehen wachgerufen. Was hier fehlt, das sind nur besonders differenzierte, bei geringen Helligkeiten arbeitende Lichtrezeptoren, eben die Stäbchen. Beides ist im Grunde verständlich, einerseits die Tatsache, dafs auch die Tagvögel die Dunkeladapation, von der ja auch das Purkinjesche Phänomen ein Ausdruck ist, besitzen, andererseits der Umstand, dafs ihnen besonders differenzierte Lichtrezeptoren für die Dunkelheit fehlen. Bei Ausfall der Dunkeladaptation würde eben schon die ganz allgemeine räumlich-optische Orientierung in der Dunkelheit, die auch die Tagvögel nicht entbehren können, Schaden leiden; dagegen werden die spezielleren Leistungen des Dämmerungssehens, denen die der Dunkelheit angepafsten Lichtrezeptoren dienen, hier ohne Schaden ausfallen können. So wird das Huhn die bessere Sehschärfe, die im Dunkeln der Stäbchenapparat gewährleistet, entbehren können, da das Huhn z. B. seine Körner nie im Dunkeln pickt (v. Hess).

Diese Sachverhalte stehen auch in voller Analogie zu Tatbeständen, die in der klinischen und pathologischen Biologie immer gröfsere Bedeutung gewinnen und hier immer stärkere Beachtung finden. Immer mehr dringt hier die Anschauung durch, dafs die abnorme Funktion, die in einem Krankheitsbild zum Ausdruck kommt, nicht immer in einem einzelnen Organ, sondern sehr oft in einem über weite Organkomplexe übergreifenden „System“ begründet ist. So kann Tetanie aus einer Abänderung des „Ionen-Milieus“, vor allem einer Anomalie des Kalkstoffwechsels entstehen, aber auch aus einer Beeinträchtigung der Epithelkörperchen, die auf eine im einzelnen noch nicht näher bekannte Art an der Regelung des Ionenmilieus beteiligt sind, endlich aber gibt es auch eine

Tetanie zentralen Ursprungs. Ebenso kann Basedow von der Schilddrüse aus entstehen, wahrscheinlich aber in manchen Fällen auch noch periphereren Ursprungs sein, andererseits aber auch zentral und selbst psychogen entstehen. Ebenso kann Diabetes sowohl an der Peripherie des Körpers wie zentral entstehen und sogar experimentell vom Zentralorgan her ausgelöst werden. Jedes dieser Systeme scheint einheitlich und geschlossen zusammenzuarbeiten. Wie es von verschiedenen seiner Anteile aus eingeschaltet werden kann, so läfst es sich auch unter Umständen von verschiedenen Anteilen her wieder ausschalten, d. h. die therapeutische Umstimmung läfst sich von verschiedenen Anteilen aus vollziehen. Hier ist z. B. von Bedeutung die von F. Kraus gelehrte Äquivalenz zwischen dem Verhalten des Kalium-Calziummilieus und gewissen Funktionszuständen des vegetativen Nervensystems. So lassen sich äquivalente Wirkungen erzielen durch eine direkt am vegetativen Nervensystem angreifende pharmakologische Beeinflussung oder auch durch eine Abänderung des Ionenmilieus. Das einheitlich arbeitende System kann von verschiedenen seiner Anteile aus eine „Umstellung" erfahren. Es ist kein Zufall, dafs gerade die klinische Physiologie auf diese Sachverhalte mit besonderem Nachdruck hingewiesen hat; denn sie kann sich nie mit der Untersuchung isoliert betrachteter oder gar ausgeschnittener Organsysteme begnügen, sondern hat es immer mit dem Organismus als einem Ganzen zu tun. Unter demselben ganzheitlichen Gesichtspunkt erfolgt nun hier die experimentelle Untersuchung eines Sinnesphänomens im Bereiche des Lichtsinnes. Die Ergebnisse auf dem einen und dem anderen Gebiet stehen in voller Analogie. Sie erhellen und bestätigen sich wechselseitig.

Dabei darf nicht unerwähnt bleiben, dafs die oben dargelegten Gesichtspunkte, die für die Betrachtung vieler Erscheinungen jetzt immer mehr bestimmend werden, gerade in der Psychophysiologie des Gesichtssinnes besonders früh zur Geltung gebracht worden sind, nämlich in der von G. E. Müller aufgestellten Farbentheorie und seiner Erklärung der verschiedenen Formen der Farbenblindheit. Hier wurde schon vor langer Zeit gezeigt, dafs die Farbenblindheit, ganz ebenso wie es heute für die oben erwähnten Zustandsbilder angenommen

wird, ebensowohl als peripherer wie zentraler bedingter Störung auftreten, nämlich entweder in einem peripheren oder zentralen Ausfall begründet sein kann.[1] Diese Theorie und die darauf gegründete Erklärung der Farbenblindheit unterscheidet äufsere Prozesse der Netzhaut und innere Nervenerregungen. Es gibt also z. B. einen äufseren Grünprozefs und eine innere Grünerregung; Ausfall der Grünempfindung kann darum peripherer oder zentraler bedingt sein, nämlich durch äufseren oder inneren Ausfall zustandekommen. Ganz entsprechend führen diese Untersuchungen zu dem Ergebnis, dafs das Purkinjesche Phänomen ebensowohl peripheren wie zentralen Ursprungs sein kann. Auch die Deutung, die wir diesen Tatsachen zu geben haben, mufs äufsere „Netzhautprozesse" und mit ihnen in Zusammenhang stehende „innere Erregungen" annehmen, also ein zusammenarbeitendes Funktionssystem, das über verschiedenartige anatomische Einheiten hinübergreift. Wie dort äufsere Farbprozesse und innere Farberregungen zusammenwirken, so müssen hier im Interesse der Erklärung des Purkinjeschen Phänomens äufsere „Stäbchenprozesse" (eben die in den Stäbchen sich abspielenden Vorgänge) und innere Erregungen angenommen werden, die sich im Nervensystem abspielen, aber doch den Stäbchenprozessen und ihrem Funktionsablauf genau korrespondieren, indem sie unter denselben äufseren Bedingungen wie die Stäbchen in Funktion treten (bei Dunkelanpassung des Auges) und auch sonst in ihrem Funktionszustand dieselbe Abhängigkeit von den äufseren Reizen zeigen, wie das aus der Gleichartigkeit des peripherer oder zentraler bedingten Purkinjeschen Phänomens, d. h. der für dieses Phänomen charakteristischen und immer gleichartigen Helligkeitsverteilung hervorgeht. Man könnte mit Rücksicht hierauf geradezu von „äufseren und inneren Stäbchenprozessen" reden. Doch empfiehlt es sich wohl, letzteren Ausdruck lieber zu vermeiden, da er hinsichtlich des Ortes, wo sich jene zentralen Prozesse abspielen, Mifsverständnisse hervorrufen könnte.

Was sich so ergibt, steht auch in gutem Einklang mit

[1] Eine neue Darstellung seiner Theorie gab G. E. Müller in der Schrift „Typen der Farbenblindheit". Göttingen 1924. Auch v. Kries nimmt äufsere und innere Reizwerte an.

Zusätzen zu der Duplizitätstheorie von v. Kries, die sich neuerdings als notwendig erwiesen haben. Eine Abänderung der Duplizitätstheorie hat G. E. Müller[1] in der Theorie von der rhodogenetischen Hemmung gegeben. Nach dieser Theorie wird durch die Zapfentätigkeit eine Hemmung auf die Tätigkeit der Stäbchen ausgeübt. Müller sucht zu zeigen, dafs sich die Einzelheiten des Dämmerungssehens und seitlichen Sehens nur von dieser Annahme aus verstehen lassen. Also auch nach dieser Theorie mufs angenommen werden, dafs das Dämmerungssehen nicht nur an eine bestimmte Art anatomischer Einheiten — die Stäbchen — gebunden ist, sondern ein Funktionssystem darstellt, das über ganz verschiedene anatomische Einheiten und selbst über die Zapfen, d. h. die Lichtrezeptoren des Tagessehens, hinübergreift. Aber auch die speziellen Anschauungen, die diese Theorie der rhodogenetischen Hemmung entwickelt, stehen mit unseren Ergebnissen in gutem Einklang. Der Sachverhalt ist nach der von G. E. Müller entwickelten Anschauung der, dafs das Zapfensehen — also nach unserer Terminologie ein Teil des entwicklungsgeschichtlich höchsten Sehens — auf das Stäbchensehen — d. h. in unserer Ausdrucksweise einen Teil des entwicklungsgeschichtlich primordialen Sehens — hemmend wirkt, oder dafs die entwicklungsgeschichtlich jüngeren Funktionsschichten die älteren unterdrücken und niederhalten. Mit der Annahme einer solchen gegenseitigen Beeinflussung von Stäbchen- und Zapfenapparat würde es in gutem Einklang stehen, dafs die älteren Schichten hervortreten, wenn die jüngeren ausgeschaltet werden.

Wir haben im Vorstehenden einen Teil der Ergebnisse unserer Untersuchungen schon angedeutet. Das darf nun aber nicht so aufgefafst werden, als sei bei den Untersuchungen in derselben Art vorgegangen worden, als sei etwa der Versuch gemacht worden, zu irgendwelchen fertigen Thesen durch eine — wenn auch unbewufste — Umbiegung der Versuchsergebnisse den nachträglichen Beweis zu erbringen. Waren wir uns doch stets bewufst, dafs nur eine induktive Arbeitsmethode — wie überall in diesem Gebiet, so auch

[1] G. E. Müller, Zur Theorie des Stäbchenapparates und der Zapfenblindheit. *Zschr. f. Sinnesphysiol.* **54**. 1922.

hier — in Betracht kommen konnte, weshalb wir uns stets nur von den Ergebnissen der Untersuchungen, nicht aber von vorgefafsten Meinungen haben leiten lassen. Der in dieser Darstellung eingeschlagene deduktive Weg ist aber nachträglich leichter zu verfolgen, und deshalb wurde er hier im Interesse der Klarheit zugrunde gelegt.

Im folgenden wird nun berichtet werden:

I. Über die im Zustand der Ermüdung an den Vpn. ausgeführten Untersuchungen hinsichtlich des Tatsachenkreises des Purkinjeschen Phänomens.

II. Über die Versuche betreffs des Verhaltens der Sehschärfe bei verschiedenfarbiger Beleuchtung. Wir finden das Wesentliche über Punkt II bereits in der Literatur und können deren Angaben an unserer Anordnung nachprüfen und bestätigen. Wir ergänzen diese Angaben nach einigen Richtungen hin. Diese Versuche sind zugleich Hilfsversuche im Interesse der

III. Fragestellung: Hat die Mitwirkung des Formensehens Einfluſs auf die Weifslichkeit, wenn komplexe Gegenstände in die Farbfelder gebracht werden?

Hier müssen nun besondere Hilfsversuche hinzugefügt werden, um naheliegende, aber nicht zutreffende Deutungen der erhaltenen Resultate auszuschliefsen.

IV. Anschliefsend folgen Versuche über den Weifslichkeitsvergleich rot und blau beleuchteter Flächen beim Übergang von direkter zu indirekter und von kürzer- zu längerdauernder Betrachtung.

V. In analoger Weise wie das Verhalten des Formensehens wird dann auch dasjenige des Bewegungssehens geprüft. Die Versuche beziehen sich auf das Verhalten der scheinbaren Bewegungsgeschwindigkeit und werden im Tages- und Dämmerungssehen, im direkten und seitlichen Sehen, sowie bei roter oder blauer Beleuchtung vorgenommen. Die Versuche wurden — aufser denen der ersten Gruppe — sämtlich im verdunkelten Zimmer ausgeführt.

2. Kapitel

Technisches

Der Raum, in dem die meisten Versuche stattfanden, war ein zweifenstriges Eckzimmer mit je einem Fenster an

jeder Aufsenwand. Das Zimmer war dunkel gestrichen und konnte mittels schwarzer Stoffjalousien vollkommen lichtdicht verdunkelt werden. Als rote bzw. blaue Lichtquelle dienten zwei Projektionslampen, je 50 Kerzen stark; vor den Lampen befand sich ein rotes bzw. blaues Glas. Beide Gläser waren ungefähr gleich stark gesättigt und beiläufig nahezu gleich weifslich. Um den Stromschwankungen im städtischen Leitungsnetz zu entgehen, entnahmen wir zu sämtlichen Versuchen den Strom aus der Haus-Akkumulatoren-Batterie mit 110 Volt Spannung. Zwecks leichterer Beweglichkeit der Lampen waren diese auf zwei kleinen Stelltischen montiert. Um bei den Untersuchungen alles Nebenlicht abzublenden, das Adaptationsänderungen hätte hervorrufen können, wurden die Projektionslampen mit Hilfe von starkem, undurchsichtigem Pappkarton gut eingebaut. Aufserdem bediente sich die Vp. bei den Beobachtungen einer langen Pappröhre, die vor das Gesicht genommen gut anlag. So wurde etwa noch restliches Nebenlicht abgeblendet und nur ein kleiner Teil des Gesichtsfeldes freigegeben, in dem, wenn nichts anderes gesagt ist, entweder nur die rot beleuchtete oder nur die blau beleuchtete Fläche lag. Ein gleichzeitiges Vergleichen der beiden Felder im seitlichen Sehen, das zu gröfseren Ungenauigkeiten führen mufs, war so ausgeschlossen.

Die Abschwächung der Lichtquellen geschah für das rote Licht durch einen Regulierwiderstand, den wir im folgenden „Dunkelschalter“ nennen; für das blaue Licht durch Abschwächung des Strahlenganges mittels eines Episkotisters, der dadurch hergestellt war, dafs auf einem Musilschen Farbenkreisel zwei gleiche Pappscheiben befestigt waren, die ein ähnliches Aussehen wie ein Zahnrad mit breiten Zähnen hatten. Die Zähne wie die Zahnlücken mafsen je $22\,^1/_2$ Grad (Fig. 1). Die Scheiben konnten, worin ja das Prinzip des Musilkreisels besteht, während der Rotation gegeneinander verschoben werden, so dafs dadurch der Strahlengang zeitweilig mehr oder weniger unterbrochen wurde, was nach dem Talbotschen Gesetz einer Abschwächung der Lichtstärke gleichkommt. Für gleichmäfsige Rotation wurde dadurch Sorge getragen, dafs der Motor, der den Kreisel trieb, mit 80 Volt ebenfalls an die Hausbatterie angeschlossen war, stets der

gleiche Widerstand vorgeschaltet wurde und die mechanische Spannung in der Transmission vom Motor zum Kreisel durch Festklemmen der beiden Apparate konstant gehalten wurde.

Die Abschwächung des Lichtes durch den Episkotister konnte jetzt also numerisch durch Angabe des Winkels gemessen werden, um den die eine Scheibe gegen die andere verschoben war, eine Messung, die bei Abschwächung des Lichtes mittels des Dunkelschalters unmöglich war.

Die Einstellung der Gleichung hinsichtlich der Weifslichkeit[1] geschah nach der Methode der Eindrucksgleichheit. Es wurde auf den Punkt eingestellt, bei dem die Vp. am schlechtesten entscheiden konnte, welche

Fig. 1

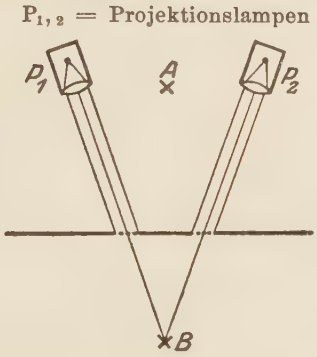

Fig. 2

Scheibe ihr weifslicher erschien, d. h. auf den Punkt „maximaler Unentschiedenheit“ oder, wie wir auch sagen werden, „optimaler Gleichheit“. Dabei ist jedoch zu beachten, dafs es sich streng genommen hier, — wie bei den meisten Versuchen über Sinnesempfindung und -wahrnehmung —, nie um einen eigentlichen positiven Gleichheitseindruck, sondern um

[1] Dieser von Hering eingeführte Ausdruck soll hier stets beibehalten werden. Es gibt nämlich zahlreiche Fälle bei psychologisch-optischen Untersuchungen, in denen Anlafs zum Auftreten von Irrtümern gegeben ist, wenn man nicht „Weifslichkeit“ und „Helligkeit“ scharf auseinander hält. So ist es eine ganz alltägliche Erfahrung bei Untersuchungen über „Farbentransformation“, dafs die eine der zu vergleichenden Scheiben von der Vp. für deutlich „weifslicher“, die andere für deutlich „heller“ erklärt wird. Das bei diesen Versuchen sich heraushebende Moment der Weifslichkeit ist es aber, das hier in Betracht kommt.

Fälle von Unentschiedenheit handelt. Statt „Einstellung auf Gleichheit“ haben wir daher auch eigentlich „Einstellung auf Unentschiedenheit“ zu sagen.[1] Die Beobachtungen erfolgten indessen nie allein durch Herstellung von solchen „Gleichungen“, sondern stets auch durch Herstellung von Ungleichungen, und bei einigen Versuchen nur auf letzterem Wege. Die Heranziehung der Ungleichungen ist nötig, weil es eine bekannte Erfahrung ist, dafs Gleichungen im Gebiete der Empfindungs- und Wahrnehmungsvorgänge oft sehr schwer zu erzielen sind. Übrigens sind die vorliegenden Phänomene so grob und sinnfällig, dafs sie durch eine Änderung der Beleuchtungsintensität des einen Lichtes im Bereich der Einstellungen, die die Vp. als „unentschieden“ anerkennt, nicht beeinflufst werden.

Die Vp. safs gleich weit von den beiden Projektionslampen (P_1 und P_2) entfernt, bei A (Fig. 2). Die Lampen standen symmetrisch zur Mittellinie, gewöhnlich in einem seitlichen Abstand von je 50 cm von der Vp., etwas nach einwärts gedreht. Bei verschiedenen Versuchsreihen wurde das Licht vom Schirm S nicht reflektiert, sondern trat durch zwei in ihm angebrachte Löcher hindurch und wurde durch das an der Stelle der Löcher befindliche Transparentpapier diffus zerstreut. In solchem Falle safs die Vp. natürlich hinter dem Schirm, bei B.

Schon vor der Anstellung der Versuche safs die Vp. einige Zeit im verdunkelten Versuchsraum, bis man annehmen konnte, dafs sich während der Dauer der Versuche die Adaptation nicht mehr merkbar änderte. Wo die Einstellung auf Unentschiedenheit, wie es in einem Teil der Versuche geschah, als Vorversuch vorgenommen und den weiteren Untersuchungen zugrunde gelegt wurde, kontrollierten wir diese Einstellung am Ende der Versuchszeit regelmäfsig noch einmal nach. Ergab sich hierbei eine Änderung, so wurde der Versuch wiederholt, bis sich keine Abweichung der Weifslichkeitsgleichungen nach dem Versuch mehr herausstellte. Minimale Verschiebungen des Optimalpunktes der Weifslichkeitsgleichung wurden nur dann durchgelassen, wenn eine solche Ver-

[1] Vgl. G. E. Müller, Gesichtspunkte und Tatsachen der psychophysischen Methodik. Wiesbaden 1904. S. 12—14.

schiebung als Fehlerquelle sicher nicht in Betracht kam, d. h. wenn sie dem beobachteten Phänomen nur hätte entgegenwirken können.

3. Kapitel

Versuche über Weißlichkeitsvergleich im Zustand körperlicher Frische und Ermüdung

§ 1. Hauptversuche

Die Versuche über Farbensehen im Ermüdungszustand wurden zunächst im Psychologischen Institut angestellt an Personen, die infolge langdauernder geistiger Arbeit oder durch Turnen in der benachbarten Universitätsturnhalle oder der nicht weit entfernten Südschule ermüdet waren. Sie kamen danach möglichst rasch, ohne vorangehende Erholung von der Anstrengung, ins Institut. Die dann stattfindenden Versuche dienten nur der vorläufigen Orientierung und sind später unter günstigeren Bedingungen durchgeführt worden (vgl. weiter unten). Mit der Vp. wurde nun eine Weifslichkeitseinstellung ausgeführt, nachdem sie hinter einem grofsen Schirm Platz genommen hatte, der im Abstand von 8 cm zwei 4×4 cm^2 grofse quadratförmige, mit Transparentpapier überklebte Ausschnitte hatte. Das eine Quadrat wurde nun rot, das andere blau durchleuchtet. Beide Felder wurden abwechselnd dargeboten. Eine Kopfstütze für die Vp. befand sich in 60 cm Abstand von den Quadraten. Durch die abwechselnde Darbietung der Felder wurde vermieden, dafs das seitlich gelegene indirekt gesehene Feld für die Beurteilung mafsgebend wurde. Dies mufste verhindert werden, weil ja im direkten und indirekten Sehen hinsichtlich des Purkinjeschen Phänomens und damit auch hinsichtlich des Weifslichkeitseindrucks ungleiche Verhältnisse herrschen. Dadurch, dafs die Kopfstütze die Stellung der Vp. zu den beiden leuchtenden Quadraten ein für allemal festlegte, wurde für gleichförmige Verhältnisse in dieser Hinsicht gesorgt. Der Episkotister durchschnitt den blauen Strahlengang. Die rote Lichtquelle konnte durch den „Dunkelschalter" in ihrer Helligkeit herabgesetzt werden. Der Dunkelschalter wurde so eingestellt, dafs das Blau noch deutlich etwas weifslicher erschien

als das Rot. Diese Stellung des Apparates blieb konstant während der ganzen Versuche. — Wir schwächten nun den blauen Strahlengang so weit ab, bis Blau soeben weniger weifslich als Rot war und hellten darauf wieder auf, bis Blau gerade wieder weifslicher als Rot gesehen wurde. Damit war durch Ungleichheitseinstellungen der ganze Bereich festgestellt, innerhalb dessen weder die eine noch die andere Farbe weifslicher erschien, also der „Unentschiedenheitsbereich" festgelegt. Diese Untersuchung wurde dann an einem anderen Tage wiederholt, wenn die Vp. recht frisch zu sein angab. Es mufste vermieden werden, dafs Adaptationsänderungen infolge der verschiedenen Helligkeit des Tageslichtes mitspielten. Der nächstliegende Weg, die Vp. erst längere Zeit im Dunkeln zu lassen, war nicht gangbar, weil während dieser Zeit die Ermüdung gewichen wäre. Wir entschlossen uns darum, alle Versuche möglichst am Abend oder am frühen Morgen auszuführen, zu einer Zeit, wo es draufsen noch vollkommen dunkel war. — Diese Versuche können vor allem deswegen noch nicht als exakt angesprochen werden, weil der Grad der vorhandenen Frische oder Ermüdung ganz unkontrollierbar war. — Wir lassen in der Tabelle 1 die Ergebnisse folgen:

Die Längsspalten 4, 5, 8, 9 geben die gegenseitige Verschiebung der Zahnradscheiben des im blauen Strahlengang befindlichen Musilapparates an. Vor Beginn der Einstellung mifst jeder Zahn des Episkotisters, wie oben dargelegt, $22^1/_2{}^0$. Der Winkelbetrag, den wir bei der Einstellung fanden, gibt an, um wieviel der Zahn verbreitert werden mufste. Steht z. B. in der ersten Horizontalzeile unter „Mittel" der Wert $13^3/_4$, so bedeutet dies, dafs jeder Zahn des Episkotisters nun die Gröfse $22^1/_2{}^0 + 13^3/_4{}^0 = 36^1/_4{}^0$ hatte. In Spalte 10 ist der Unterschied der beiden Einstellungen des Episkotisters angegeben. Die Zahl ist mit einem +- oder —-Zeichen versehen, je nachdem in der zweiten Versuchsreihe eine Verdrehung um mehr oder weniger Winkelgrade erforderlich war als in der ersten. Man sieht, dafs bei der zweiten Einstellung im Mittel eine stärkere Schwächung des blauen Lichtes notwendig war als bei der ersten. Das läfst auf eine relativ stärkere Blauempfindlichkeit im Ermüdungszustand schliefsen. Die Versuche sind jedoch aus

Tabelle 1

Vp.	Gesamtzustand (Frische oder Ermüdung) der Vp.	Tageszeit	Einstellung des Episkotisters in Grad	Mittel	Gesamtzustand (Frische oder Ermüdung) der Vp.	Tageszeit	Einstellung des Episkotisters in Grad	Mittel	Unterschied beider Einstellungen in Grad
Frl. Be.	unermüdet nach Tisch	8½ Uhr abds.	10—17½	13¾	ermüdet nach Turnen	9 Uhr abds.	2½—12½	7½	−6¼
Frl. Br.	„	„ „	0—8½	4¼	„	„ „	2½—6	4¼	0
Frl. Schm.	„	„ „	0—3	1½	„	„ „	7½—15	11¼	+9¾
Sta.	frisch	10 Uhr morg. (sehr trübe)	7½	7½	stark geistig ermüdet	10 Uhr morg. (sehr trübe)	12½—16	14½	+7
Ze.	„	3¾ Uhr nachm. (sehr trübe)	12—7½	9¾	ermüdet nach sportl. Übung	3¾ Uhr nachm. (sehr trübe)	10—15	12½	+2¾
Frl. Ru.	„	7½ Uhr morg.	0—7½	3¾	stark ermüdet nach Geistes Arb.	11¼ Uhr abds.	11¼—11½	11⅜	+7⅝
We.	„	6¾ Uhr abds.	15—18½	16¾	„	„ „	20—21	20½	+3¾
Bo.	„	2½ Uhr nachm. (hell)	12½—17½	15	etwas ermüdet nach Turnen	9 Uhr morg. (hell)	15—18½	16¾	+1¾
Chri.	„	2¾ Uhr nachm. (hell)	0—13½	6¾	„	9¼ Uhr morg. (hell)	6½—12½	9½	+2¾
Schü.	„	3 Uhr nachm. (hell)	12½	12½	„	9½ Uhr morg. (hell)	9—12½	10¾	−1¾

den oben angeführten Gründen, abgesehen von ihrer geringen Anzahl, nicht beweisend. Besonders unsicher erschien uns das Ergebnis in Zeile 5, 9 und 10.

Wir entschlossen uns daher, die Versuche noch exakter zu gestalten durch Ausschaltung des Weges zum Institut und durch Erzielung einer mit Sicherheit vorhandenen und ausreichenden Ermüdung. Ersteres geschah durch Verlegung unserer Anordnung in das Untersuchungszimmer des Marburger Akademischen Stadions, letzteres durch ausschliefsliche Benutzung des Laufes als Ermüdungsmittel, — Waldlauf, Mittelstreckenlauf, in einem Falle auch Fufsballspiel —, wobei man an der gesteigerten Atmungstätigkeit zugleich eine Kontrolle für die Ausgiebigkeit der körperlichen Leistung hat. Eine Fehlerquelle, die sich durch eine zwischen dem Lauf und der zweiten Untersuchung etwa eintretende Erholung hätte einmischen können, wurde tunlichst ausgeschaltet. Die Läufe erfolgten vielfach in Abständen, so dafs jeder Läufer sogleich nach dem Eintreffen untersucht werden konnte. Wo die Läufe nicht in Abständen erfolgten, wurden die Vpn., die nicht sogleich untersucht werden konnten, angehalten, die Ermüdung bis zur Untersuchung durch gymnastische Übungen aufrecht zu erhalten. Es handelte sich dabei übrigens stets nur um Zeiten von weniger als einer Minute.

Die Untersuchung fand in einem zweifenstrigen hellen Zimmer statt, dessen Fenster nach Westen gingen. Die gelben Wände waren zwecks Vermeidung einer Gelbadaptation vollständig mit Zeitungspapier ausgekleidet. In der Mitte des Zimmers stand auf einem grofsen weifsen Tische die Versuchsanordnung. Diese bestand aus zwei Farbkreiseln: einem mit einer einfachen roten Scheibe versehenen Kreiselmotor und einem Musilkreisel mit einem veränderlichen dunkelgrauen und blauen Sektor, die zusammen 360° ausmachten. Zu letzteren wurden zwei Vollscheiben verwandt, die radial aufgeschnitten und ineinander gesteckt waren, eine blaue und eine dunkelgraue, letztere so ausgewählt, dafs sie möglichst gar keine, auch keine schwach angedeutete Farbnuance aufwies. Diese Scheiben liefsen sich während der Rotation des Musilkreisels gegeneinander verschieben. — Von beiden Kreiseln waren für die in der Entfernung von 1 m davor sitzende

Vp. nur die beiden inneren Segmente zu sehen, die dicht nebeneinander lagen und auf deren Berührungspunkt die Vp. den Blick lenken sollte. Alles andere war durch mittelgrauen Grund abgedeckt, der möglichst dieselbe Weifslichkeit zeigte wie die Farbscheiben. Auf diesen Grund sah die Vp. auch, falls und solange sich irgendwelche Nachbilder zeigten. Überhaupt wurde sie angehalten, immer nur kurze Zeit auf die Scheibe zu blicken und zwischendurch auf den grauen Grund zu sehen. Die Natur der Versuche im Ermüdungszustand brachte es übrigens mit sich, dafs das Verhalten der Vpn. durch Instruktionen nicht gar zu stark eingeengt werden konnte. Der Musilkreisel wurde durch einen Motor mit Regulierwiderstand angetrieben. Zur Verfügung stand die städtische Stromleitung mit 220 Volt. Die Tourenzahlen der Scheiben waren so hoch, dafs diese trotz der gelegentlichen Spannungsschwankungen im Leitungsnetz stets flimmerfrei gesehen wurden.

Die blaue Farbscheibe war nun etwas weifslicher als die rote gewählt. Der Scheibendurchmesser betrug 13 cm; das dunkelgraue Papier war nahezu tuchschwarz, nämlich äquivalent 330° Tuchschwarz + 30° Magnesiumweifs. Die Einstellung erfolgte ähnlich wie oben. Sowohl vor dem Lauf wie nach dem Lauf wurden die Punkte aufgesucht, wo bei der Einstellung auf dem Musilapparat soeben „Blau dunkler als Rot“ und soeben „Blau weifslicher als Rot“ erschien. Diese Einstellungen wurden dreimal hintereinander gemacht und daraus die Mittelwerte genommen. Die Messungen wurden stets möglichst zu einer Zeit ausgeführt, wo die Tageshelligkeit zwischen den beiden Versuchen ohne und mit Ermüdung nicht ab-, sondern eher zunahm, so dafs etwaige Änderungen der Tageshelligkeit dem Auftreten des Purkinjeschen Phänomens und damit der hier untersuchten Erscheinung nur hätten entgegenwirken können. Nötigenfalls wurden Messungen der Helligkeit mit dem Hakaexpometer vorgenommen, um zu kontrollieren, ob diese Versuchsbedingung erfüllt war.

Der erste Versuch wurde am 10. 2. 25 nachmittags von 2—4¼ Uhr angestellt. Es war ein heller Tag; die Sonne schien schräg ins Zimmer, aber nicht auf die Apparatur. Die Helligkeit im Zimmer sank nicht, da die Sonnenstrahlen mit

der Zeit mehr von vorn in den Raum fielen. Es hatten sich uns in liebenswürdiger Weise Angehörige der Akademischen Turnverbindung zur Verfügung gestellt, die einen längeren, stark ermüdenden Waldlauf unternahmen. Es folgt die Tabelle.

Tabelle 2

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
		Größe des Schwarzsektors (Rest Blau)			
Neg.	20—63	41	100—130	115	+ 74
Möck.	40—68	54	85—160	123	+ 69
Geh.	55—115	85	40—70	55	— 30
Hei.	147—187	167	100—165	132	— 35
Kau.	10—28	19	55—130	93	+ 74
Men.	100—145	123	190—235	213	+ 90
Seif.	115—145	130	220—250	235	+105
Mar.	127—133	130	190—205	198	+ 67
Sie.	128—190	169	100—165	133	— 26
Tie.	165—195	180	205—250	227	+ 48
Ju.	160—195	178	145—190	168	— 10

Eine zweite und dritte Untersuchung wurde am 14. 2. 25 vormittags von 12—1 Uhr und nachmittags von 3—4¼ Uhr ausgeführt. Es war morgens bedeckter Himmel, nachmittags sehr trübe, so daß die letzten Versuche infolge ungünstig gewordener Lichtverhältnisse nicht mitgerechnet werden dürfen. Wir geben nur die verläßlichen Versuche wieder. Es hatten sich Angehörige verschiedener Korporationen und Gruppen zur Verfügung gestellt; die Herren unternahmen einen längeren Waldlauf, der stark ermüdete, nur Herr Ma. und Kr. unternahmen Kurzstreckenlauf.

Weiter wurden am 18. 2. morgens 8—8¾ Uhr noch einige Versuche ausgeführt, zu denen sich in dankenswerter Weise Herren der Verbindung Franconia bereit erklärt hatten. Das Wetter hellte sich im Laufe der Untersuchungen wesentlich auf. Die damit etwa verbundenen Adaptationsänderungen konnten

also nur in einer zunehmenden Helladaptation bestehen, d. h. höchstens dahin wirken, dafs das Blau bei der zweiten Messung eine relative Verdunkelung erfuhr im Vergleich zur ersten Messung. Es lagen damit Verhältnisse vor, die der zu erwartenden Erscheinung eher entgegenwirken mufsten und sie keinesfalls begünstigen konnten.

Es folgen die Ergebnisse in Tabelle 3 und 4.

Tabelle 3

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad	
	Gröfse des Schwarzsektors (Rest Blau)					
Ju.	145—180	163	100—155	128	−35	
Ti.	130—190	160	190—250	220	+60	12 Uhr
Ba.	130—190	160	200—260	230	+70	
Ma.	160—235	212	190—250	220	+ 8	
Kr.	170—190	130	100—160	130	0	
Stu.	235—245	240	245—255	250	+10	3 Uhr
Maa.	235—270	252	235—280	258	+ 6	

Tabelle 4

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
	Gröfse des Schwarzsektors (Rest Blau)				
Bar.	280—310	295	310—340	325	+30
Pol.	250—280	265	280—300	290	+25
Met.	250—310	280	230—310	270	−10
Kon.	215—295	255	220—290	255	0
Wen.	280—340	310	310—325	318	+ 8

Die nächsten Messungen konnten am 25. 2. in der Zeit von 8—9 Uhr vormittags vorgenommen werden. Der Jahreszeit entsprechend hellte es sich im Laufe dieser Zeit noch beträchtlich auf; eine etwaige Adaptationsänderung konnte also auch hier der untersuchten Erscheinung höchstens ent-

gegenwirken, bildete also sicher keine Fehlerquelle. Es wurden Läufe auf der Bahn des Stadions ausgeführt und folgende Tabelle gewonnen:

Tabelle 5

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
	Größe des Schwarzsektors (Rest Blau)				
Bar.	200—240	220	280—310	295	+25
Pol.	205—235	220	210—260	235	+15
Met.	220—280	250	280—310	295	+45
Wen.	190—250	220	250—310	280	+60

Die folgenden Untersuchungen fanden gelegentlich zweier Fußballspiele statt, die von hiesigen Vereinen ausgetragen wurden. Da infolge schlechter Bodenverhältnisse die Mannschaften beide nicht vollständig erschienen waren, wurden die einzelnen Herren durch das Spiel wesentlich mehr angestrengt als gewöhnlich. Die Untersuchungszeit war morgens von 10—12 Uhr und mittags von 1—$2^1/_2$ Uhr. Die Helligkeit war infolge geringer Schneelage ziemlich groß. Der Himmel war dauernd leicht bedeckt, hellte sich aber gegen Mittag, zur Zeit der 2. Einstellung, noch auf, so daß auch hier die Helligkeitsveränderungen dem Phänomen höchstens entgegenwirken konnten. Es ergaben sich die Werte der Tabelle 6.

Schließlich war es möglich, am 22. 3. gelegentlich des Frühjahrswaldlaufs der Marburger Sportvereine noch eine Anzahl von Herren hinsichtlich des vermuteten Phänomens zu untersuchen. Der Lauf war sehr anstrengend. Die Strecke betrug für die Seniorenklasse, der die meisten der Vpn. angehörten, 5 km, für die jüngeren Teilnehmer 2,5 bzw. 1,0 km. Das Wetter war klar und sonnig. Die Untersuchungszeit war von 11—$12^1/_2$ Uhr, die Helligkeit bei der 2. Einstellung wieder eher größer. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefaßt.

Zu den in der Tabelle 7 zusammengefaßten Untersuchungen ist zu bemerken, daß die besten Läufer, Vpn. Pfe.

Tabelle 6

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
	Größe des Schwarzsektors (Rest Blau)				
Pfe.	70—130	100	130—205	167	+ 67
Schu.	70—130	100	130—175	152	+ 52
Men.	80—140	110	160—170	165	+ 55
Sche.	120—170	145	165—205	185	+ 40
Ba. I	120—160	140	240—280	260	+120
Ba. II	130—190	160	220—290	255	+ 95
Nol.	160—200	180	190—200	195	+ 15
Rod.	160—200	180	190—250	220	+ 40
Lem.	80—160	120	250—295	272	+152
Rol.	110—160	135	205—265	235	+100
Gru.	190—250	220	150—200	175	— 45
Schn.	130—190	160	220—250	235	+ 75
Mü.	220—280	250	205—265	235	— 15

Tabelle 7

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2 Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
	Größe des Schwarzsektors (Rest Blau)				
Schn. K.	210 - 300	255	280—310	295	+ 40
Pre.	200—270	235	180—240	210	— 25
Hen.	130—190	175	265—310	288	+113
Kal.	160—220	190	190—295	243	+ 53
Noh.	145—205	175	190—250	220	+ 45
Gim.	200—290	245	250—320	285	+ 40
Kra.	170—200	185	240—280	260	+ 75
Bar.	195—210	203	170—220	195	— 8
Bot.	130—190	160	130—240	185	+ 15
Sei.	175—230	203	250—315	282	+ 79
Rod.	200—260	230	200—270	235	+ 5
Scho.	185—240	212	235—310	272	+ 60
Schm.	150—230	190	210—300	255	+ 65
Pfe.	130—170	150	120—170	145	— 5
Schn. V.	200—230	215	190—250	220	+ 5

und Schn. V., aussagten, das Laufen strenge sie nicht sehr an, sie hätten sich bei dem Lauf gar nicht verausgabt. Hierdurch würden sich dann auch die geringen Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Messung erklären, die sich bei diesen beiden Vpn. finden.

Durch freundliches Entgegenkommen des hiesigen Ausbildungsbataillons, für das an dieser Stelle nochmals herzlichst gedankt sei, war es möglich, späterhin noch zweimal je 25 Mann des Bataillons als Vpn. zu erhalten.

Die Läufe fanden bei hellem Wetter im Juli statt, nachmittags von $2^1/_2$—$4^1/_2$ Uhr. Die zu laufende Strecke betrug ungefähr 4—5 km, doch wurde hierbei nicht schematisch verfahren, sondern der Lauf stets bis zu starker Ermüdung ausgedehnt. Es folgt die Tabelle:

Tabelle 8

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
	Größe des Schwarzsektors (Rest Blau)				
Bel.	190—230	210	205—225	215	+ 5
Heu.	150—230	190	240—300	270	+80
Weg.	175—230	202	180—240	210	+ 8
Schau.	250—300	275	260—300	280	+ 5
Wis.	180—230	205	220—260	240	+35
Wei.	240—300	270	180—210	195	—75
Müfs.	240—270	255	250-300	275	+20
Kel.	240—310	275	230—255	242	—33
Foh.	230—270	250	180—240	210	—40
Glau.	235—300	268	237—285	262	— 6
Just	225—275	150	235—260	247	— 3
Hau.	245—290	268	240—290	265	— 3
Moh.	230—260	245	240—270	255	+10
Wey.	190—225	208	210—240	225	+17
Her.	180—245	213	270—300	285	+72
Lan.	180—210	195	240—300	270	+75
Kün.	155—195	175	240—270	255	+80
Her.	180—225	203	240—300	270	+67
Die.	245—270	257	270—290	280	+23

Fortsetzung der Tabelle 8

Vp.	1. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, unermüdet	Mittelwert in Grad	2. Einstellung der beiden Grenzwerte in Grad, ermüdet	Mittelwert in Grad	Vergrößerung des Schwarzsektors bei der 2. Messung in Grad
Gei.	180—215	197	250—290	270	+73
Kau.	180—225	202	270—300	285	+83
Flei.	230—250	240	260—295	277	+37
Ros	210—250	230	250—315	283	+53
Hen.	250—290	270	270—310	290	+20
Hoo.	250—290	270	240—275	257	−13
Schir.	120—180	150	240—315	277	+127
Dra.	200—270	235	230—310	270	+35
Schar.	180—225	202	270—315	292	+90
Bam.	240—300	270	260—315	288	+18
Schmi.	270—315	292	270—315	292	0
Hof.	225—285	255	210—270	240	−15
Kor.	250—280	265	240—270	255	−10
Koch	255—285	270	270—300	285	+15
Eng.	180—230	205	130—180	155	−50
Wei.	180—225	202	160—220	190	−12
Bie.	225—270	247	240—285	262	+15
Mit.	240—300	270	120—180	150	−120
Met.	180—225	202	150—270	210	+ 8
Buch.	180—240	210	200—240	220	+10
Gus.	165—220	193	250—310	280	+87
Lau.	255—285	270	240—300	270	0
Fren.	210—270	240	240—300	270	+30
Bie.	180—240	210	240—300	270	+60
Schä.	180—240	210	240—300	270	+60
Bey.	180—260	220	240—285	262	+42
Ern.	150—200	175	210—240	225	+50

Dafs hier etwas mehr negative und unentschiedene Fälle auftreten als in den vorigen Reihen, erklärt sich wohl zur Genüge aus dem durchweg sehr guten Training dieser Mannschaften. Die negativen Fälle brauchen übrigens hier, wie auch in den anderen Reihen, gar nicht eigentlich negative Fälle zu sein, es können auch unentschiedene oder schwach positive

Fälle sein; denn die Versuchsbedingungen sind ja im Hinblick auf die Tages- und Raumhelligkeit so gehalten, dafs dadurch eher das Auftreten der negativen als das der positiven Fälle begünstigt wird. Auch durch die weiter unten zu besprechenden Verhältnisse der Pupilleneinstellung werden die negativen Werte begünstigt; ihr Auftreten kann darum in den nicht auszuschaltenden Begleitumständen sehr wohl seine Erklärung finden.

Aus allen Versuchen ergibt sich, dafs bei den weitaus meisten Vpn. im Zustand der Ermüdung die Empfindlichkeit für kurze Wellenlängen bedeutend erhöht ist, d. h. dafs die Verhältnisse des Purkinjeschen Phänomens auftreten. Ganz ohne Zweifel ist dies dort der Fall, wo der gesamte Bereich, in dem die zuerst aufgestellte Weifslichkeitsgleichung gilt, verschieden ist von dem gesamten Bereich der Gültigkeit der zuletzt aufgestellten Weifslichkeitsgleichung; das ist aber bei 42 % der Vpn. der Fall (42 Vpn.)

Überdeckung der Bereiche, aber doch eindeutiger Weifslichkeitszuwachs im Blau tritt ein bei	31 %	(31 Vpn.)
Keine Verschiebung der Weifslichkeitsgleichung haben wir bei	4 %	(4 „)
Geringe Blauverdunkelung bei	20 %	(21 „)
Starke Blauverdunkelung bei	3 %	(3 „)
zusammen	100 %	(101 Vpn.)

Bei der Wertung der Fälle, in denen die Weifslichkeitsabnahme der blauen Scheibe eintritt, ist zu berücksichtigen, dafs es sehr gut möglich ist, dafs eine stärkere Helladaptation bei der zweiten Einstellung, wie sie ja vielfach vorlag, das Phänomen des Weifslichkeitszuwachses im Blau verdrängt hat, dafs dieses sich also bei Fehlen dieses entgegenwirkenden Umstandes auch hier noch nachweisen liefse. Immerhin besagen diese Ausnahmen, die nicht einmal quantitativ stark sind, recht wenig. Damit scheint der Beweis für die Einschaltung primordialer Schichten unseres Sehorgans im Ermüdungszustand geliefert zu sein.

Da man annehmen darf, dafs bei den stark trainierten Soldaten der Ermüdungsgrad geringer gewesen sein wird als

bei den übrigen Vpn. und daſs sie andererseits auf die Befolgung einer wissenschaftlichen Instruktion weniger eingestellt waren als die Studierenden, so liegt die Frage nach dem Ergebnis der Versuchsreihen mit Ausschluſs der Militärversuchsreihen sehr nahe.

Untersucht wurden 55 Zivilpersonen.

Stark positiv fielen die Versuche aus bei 26 Vpn. (46%). Hier lagen die Gültigkeitsbereiche der Weiſslichkeitsgleichungen vollständig getrennt.

Eindeutig nachweisbar war die relative Blauaufhellung aufserdem bei 16 Vpn. (30%).

Geringe Blauverdunkelung gegenüber Rot trat ein bei 11 Vpn. (20%). 4% der Vpn. zeigten keine Verschiebung der Weiſslichkeitsgleichung.

Zu bemerken ist, daſs bei allen Vpn., bei denen eine geringe Blauverdunkelung eintrat, diese so gering war, daſs sich die Gültigkeitsbereiche der Weiſslichkeitsgleichungen stets, und in der Regel sehr stark, überdeckten.

Wie zu erwarten, erfährt in der Tat unser Ergebnis noch eine geringe Aufbesserung durch diesen Ausschluſs der Militärversuche.

Wertet man letztere für sich, so erhält man:

Stark positiven Ausfall der Versuche (keine Überdeckung) bei	16 Vpn.	(34%)
Eindeutig positiven Ausfall bei	15 „	(33%)
Keine Einstellungsänderungen treten ein bei	2 „	(4%)
Schwach negativ fallen die Versuche aus bei	10 „	(23%)
Stark negatives Ergebnis tritt auf bei	3 „	(6%)

Man sieht, daſs die Schwankungsbreite der Ergebnisse viel gröſser ist, was vielleicht auch mit der geringen Übung der Leute im wissenschaftlichen Beobachten zu erklären ist. Es könnte hier auch noch ein anderer, die Ergebnisse möglicherweise beeinträchtigender Umstand hinzukommen. Wir erwähnten ja schon und werden noch genauer darauf zu sprechen kommen, daſs die Verhältnisse der Pupillenweite bei körperlicher Ermüdung und damit zusammenhängender Kohlensäureüberladung des Blutes unserem Ergebnis entgegenwirken Bei diesen stark durchtrainierten Leuten muſste auch die

körperliche Leistung, um einen ausreichenden Ermüdungsgrad zu gewährleisten, ziemlich erheblich sein. Es ist nun aber leicht möglich, ja sogar naheliegend, dafs eine solche gröfsere körperliche Leistung, obwohl sie hier in der psychischen und psychophysischen Sphäre geringere Ermüdungserscheinungen zeitigt, auf somatisch-physiologischem Gebiet die dem Leistungsgrad auch sonst entsprechenden Verhältnisse hervorbringt; hierzu könnte namentlich auch die Kohlensäurespannung des Blutes sowie der damit zusammenhängende Zustand der Pupillenreaktion gehören.

Bemerkenswert ist aber auch hier, dafs die Gesamtzahl der positiven Ergebnisse immerhin 67 % beträgt, also gegenüber der entsprechenden Zahl bei Einschlufs der Zivilpersonenbeobachtungen nur um wenige Prozent zurückbleibt.

Im Einklang mit diesen Untersuchungen dürfte es auch stehen, wenn infolge von Gehirnverletzungen in der Sehsphäre, wie G. E. Müller[1] angibt, in verschiedenen von G. Lenz sowie Goldstein und Gelb erwähnten Fällen bei den Patienten eine erhöhte Empfindlichkeit für kurze Wellen beobachtet wurde. Es handelt sich dabei offenbar um eine Abbauerscheinung der höher entwickelten Schichten des Gesichtssinnes, die sich durch das Eintreten des Purkinjeschen Phänomens bemerkbar macht, was G. E. Müller, wie beiläufig bemerkt sei, durch Ausbleiben der auf reflektorischem Wege hervorgerufenen rhodogenetischen Hemmung der Zapfentätigkeit erklärt.

§ 2. Kontrollversuche zur Sicherung der erzielten Ergebnisse und ihrer Deutung.

Gleichwohl könnte der obigen Ausdeutung unseres Phänomens noch ein Bedenken entgegenstehen. Es mufs jedenfalls die Möglichkeit erwogen werden, dafs vielleicht im Zustand der Ermüdung eine Pupillenverengerung auftritt, und dafs so weniger Licht ins Auge fällt, wodurch Verhältnisse geschaffen würden denen analog, die bei Eintritt der Dämmerung vorliegen. Wir müssen darum die Frage prüfen,

[1] G. E. Müller, Typen der Farbenblindheit. Göttingen 1924.

ob durch körperliche Ermüdung eine Pupillenverengerung hervorgerufen wird oder nicht. Dafs dies nicht der Fall ist, dafür sprechen mit Wahrscheinlichkeit schon Versuche von O. Bumke[1] an Vpn., die durch Nachtwachen ermüdet waren und bei denen sich in der Ermüdung gerade eine Erweiterung der Pupille zeigte. Immerhin empfahl es sich, ähnliche Versuche unter Bedingungen anzustellen, die mit den unseren noch genauer übereinstimmen, also im Zustand der durch körperliche Leistung hervorgebrachten Ermüdung. Hierzu nötigt namentlich auch der Befund Wielands[2], wonach hoher Kohlensäuregehalt des Blutes bei Erstickungsversuchen eine Pupillenverengerung bewirkt, und mit einer Steigerung der Kohlensäurespannung des Blutes mufs ja auch bei verstärkter Muskeltätigkeit gerechnet werden. Da hier also infolge einander entgegenwirkender Umstände eine eindeutige Voraussage nicht möglich war, so entschlossen wir uns, die Frage einer etwaigen Pupillenänderung bei ausgiebiger Ermüdung durch Anstellung einiger eigener Versuche zu entscheiden. Die Untersuchungen wurden abends nach Eintritt tiefer Dämmerung in demselben Raum wie vorher ausgeführt. Die Vp. legte den Kopf auf eine Kinnstütze und fixierte auf einem 30 cm entfernten weifsen Schirm ein mit der Nadel hineingestofsenes kleines Loch. 15 cm darunter befand sich eine 3 cm grofse kreisförmige Öffnung, durch die hindurch mit dem Pupillometer beobachtet werden konnte. Die Beleuchtung erfolgte durch eine 50-Kerzenlampe, die 30 cm unterhalb der Beobachtungsöffnung des Schirmes befestigt war. Die Lampe war mit Seidenpapier überdeckt, so dafs die Helligkeit gleichmäfsiger zerstreut wurde. Im Interesse eines gleichmäfsig hellen Brennens der Lampe war ein Ampèremeter mit Vorschaltwiderstand vor der Lampe angebracht. Der Widerstand wurde so reguliert, dafs das Ampèremeter stets ein und dieselbe Stromstärke (0,235 Amp.) anzeigte. Es ergab sich dann folgende Tabelle:

---

[1] O. Bumke, Pupillenstörungen bei Geistes- und Nervenkranken. 2. Aufl. 1911.

[2] Wieland, Beziehungen zwischen Pupillenweite und Kohlensäurespannung des Blutes. *Zschr. f. exper. Pharmakol. u. Pathol.* 100, 1923.

Tabelle 9

Vp.	Einstellung vor dem Lauf	Einstellung nach dem Lauf	Vp.	Einstellung vor dem Lauf	Einstellung nach dem Lauf
Beck.	4,0	4,3	Rud.	3,3	3,5—3,6
Hen.	4,0	4,2	Dr. J.	3,2	3,2—3,3
			Ba.	4,0	3,9—4,0

Durch gütiges Entgegenkommen von Herrn Oberstudiendirektor Dr. Otto vom hiesigen Realgymnasium waren wir späterhin in der Lage, über die Frage der etwaigen Pupillenänderung durch Lauf an der Unterprima noch einige ergänzende Untersuchungen vorzunehmen. Die Versuche fanden nachmittags in der Zeit von $3^1/_4$—$4^1/_2$ Uhr statt. Die Schüler machten einzeln je einen Dauerlauf von 5 Minuten. Die Messungen fanden unmittelbar vor und nach dem Lauf statt. Die Apparatur war die gleiche wie bei den früheren Versuchen; nur fiel die künstliche Beleuchtung fort. Es ergaben sich folgende Resultate:

Tabelle 10

Vp.	Einstellung vor dem Lauf	Einstellung nach dem Lauf	Vp.	Einstellung vor dem Lauf	Einstellung nach dem Lauf	Vp.	Einstellung vor dem Lauf	Einstellung nach dem Lauf
Schef.	4,0	3,9	Oli.	3,6	3,6	Krü.	3,7	3,8
Ka.	3,5	4,0	Kle.	3,5	4,0	Ca.	4,4	4,3
Mer.	3,8	3,6	Dör.	4,7	5,0	Mü.	3,8	4,2
Per.	4,3	4,5	Schl.	4,0	4,4	Roh.	3,6	3,5
			v. Be.	3,7	3,8			

Aus allen Versuchen ergibt sich, dafs wir, wie es schon nach Bumkes Untersuchungen wahrscheinlich war, im allgemeinen eher mit einer Pupillenvergröfserung durch Lauf zu rechnen haben[1], so dafs die Pupillenänderungen nicht als Ursache des Phänomens der Weifslichkeitszunahme für blaues Licht in Betracht kommen. Die Untersuchungen über das Verhalten der Pupille geben jetzt auch eine Handhabe zum Verständnis der wenigen schwach abweichenden Beobachtungen einzelner Vpn., die im Ermüdungszustand das Rot

[1] Weitere Beobachtungen, die hiermit in Einklang stehen, bei J. Piltz, Über Aufmerksamkeitsreflexe der Pupille. *Neurol. Zentralblatt* 1899, S. 14.

sicher heller als Blau empfanden. Es ist sehr wohl möglich, dafs bei diesen Vpn. nach dem Lauf die Pupillenvergröfserung die Erscheinung des Purkinjeschen Phänomens durch Vermehrung des das Auge treffenden Lichtes überkompensierte. Dazu kommt, dafs auch das Verhalten der Tagesbeleuchtung bei diesen Versuchen, wie mehrfach erwähnt, gerade das Auftreten dieser abweichenden Fälle begünstigen mufste.

Man wird daher das Auftreten des Purkinjeschen Phänomens im Ermüdungszustand in der Tat durch eine Einschaltung primordialer Schichten unseres Sehorgans im Ermüdungszustand zu erklären haben.

4. Kapitel

Hilfsversuche über das Verhalten der Sehschärfe bei verschiedenfarbiger, gleich weißlicher Beleuchtung

Gemäfs unserer Disposition untersuchen wir nun die Verhältnisse des Formensehens und der Sehschärfe im roten und blauen Licht. Über diesen Gegenstand liegt, entsprechend seiner Bedeutung für die Beleuchtungstechnik, schon eine gröfsere Literatur vor. Die wichtigste und bedeutungsvollste Veröffentlichung innerhalb der sinnesphysiologischen Literatur scheint die von R. Pauli[1] zu sein, worin der Verfasser auch ausführlich auf die früher angestellten Versuche, besonders auf die Untersuchungen von Uhthoff, sowie auf die von Lepinay und Nicati, Örum und Silfast, Bultinow und Löser kritisch zu sprechen kommt und nachweist, weshalb diese Versuche doch alle mehr oder weniger ungenau oder fehlerhaft gewesen sind. Paulis Untersuchungen, die in bezug auf Versuchsanordnung und -verfahren wohl als recht exakt gelten können, führen ihn zu dem Ergebnis:

„Die von Helmholtz aufgestellte Hypothese[2], dafs wir bei gleicher Helligkeit heterochromer Lichter gleichviel sehend erkennen können, kann ... nicht aufrecht erhalten werden.

[1] R. Pauli, Untersuchungen über Helligkeit und Beleuchtungsart farbiger und farbloser Lichter. *Zschr. f. Biologie* 1913, S. 311—333.

[2] Paulis Helmholtz-Zitat ist nicht ganz korrekt. Statt „Hypothese" müfste es richtiger wohl heifsen „Helligkeitsdefinition".

Die einzige Tatsache, in der alle Untersuchungen (der verschiedenen Forscher) übereinstimmen, ist die, dafs blaues Licht einen geringeren Beleuchtungswert besitzt als die übrigen. . . . Die Beleuchtungswerte findet man dabei durch Reduktion der Sehschärfenverhältnisse auf gleiche Helligkeit. . . . Die Beleuchtungswerte lassen sich in eine Skala von aufsteigender Richtung ordnen: Blau, Rot, Gelb, Weifs."

Es soll nun über unsere eigenen dieser Frage gewidmeten Untersuchungen berichtet werden. Die Versuche wurden jetzt wieder im Psychologischen Institut mit der eingangs beschriebenen Anordnung ausgeführt. Wir benötigten für unsere späteren Untersuchungen eine ganz ähnliche Anordnung, wie sie für die Sehschärfeversuche Verwendung findet, und konnten die Ergebnisse der bisherigen Autoren hierüber bestätigen, ohne dafs der Anspruch erhoben werden soll, zu dieser — gar nicht auf dem Wege unser eigenen Untersuchung gelegenen — Frage einen Beitrag zu liefern; auch beanspruchen wir nicht, diese Untersuchungen unter den möglichst günstigen Bedingungen durchgeführt zu haben.[1]

Zur Nachprüfung der von Pauli erhaltenen Ergebnisse wurde an 10 Vpn. eine Prüfung der Sehschärfe in rotem und blauem Lichte von gleicher Weifslichkeit vorgenommen. Es wurde auf weifsen Kartons (Rückseiten zweier Snellenschen Leseprobetafeln), die in ca. 1 m Entfernung von der Vp. und im gegenseitigen Abstande von etwa 50 cm aufgestellt waren, die optimale Weifslichkeitsgleichung von Rot und Blau hergestellt, d. h. diejenige Einstellung gewählt, bei der am sichersten weder die eine noch die andere Farbe an Weifslichkeit überwog. Diese Einstellung erfolgte stets durch ausschliefsliche Benutzung des Dunkelschalters. Es ist dabei beiläufig noch zu bemerken, dafs durch eine Anderung des in dem einen Stromzweig gelegenen Widerstandes des Dunkelschalters die Helligkeit der in dem anderen parallel liegenden Stromzweig befindlichen Lampe nicht geändert wurde. Der Stromverbrauch der Lampen war dafür viel zu gering; ein

[1] Gegen die Snellenschen Leseprobetafeln z. B. sind ja gelegentlich Einwände erhoben worden.

Hellerbrennen der einen Lampe durch Verdunkelung der anderen Lampe war also ausgeschlossen.

War auf Unentschiedenheit der Weifslichkeit eingestellt, so wurden die Tafeln umgedreht und die Schriftproben dargeboten. Die Sehschärfe wurde nach der Formel berechnet Sehschärfe $v = \frac{d}{D}$, wo d die Entfernung ist, aus der soeben erkannt wird, D die Entfernung, aus der unter normalen Umständen erkannt werden soll, d. h. aus der die Schrift unter einem Winkel von 5′ erscheint. Es ergaben sich dann folgende Werte:

Tabelle 11

Vp.	Sehschärfe in blauem Licht	Sehschärfe in rotem Licht	Vp.	Sehschärfe in blauem Licht	Sehschärfe in rotem Licht
Feu.	0,275	0,489	Luc.	0,100	0,178
Nol.	0,237	0,422	Gie.	0,175	0,438
Hil.	0,313	0,714	Ru.	0,237	0,543
Neu.	0,138	0,327	Dr. Fr.	0,100	0,178
Met.	0,129	0,257	Sta.	0,275	0,630
Dr. Fr.	0,114	0,150	Nol.	0,231	0,375

Hatten wir hier die Erkennbarkeit bei gleicher Weifslichkeit von Rot und Blau verglichen, so boten wir jetzt zwei mit gleich grofsen, gleichartigen Buchstaben gesetzte Texte im roten und blauen Lichte dar und machten von den anfangs scheinbar gleich hellen Lichtern dasjenige, in dem anfangs mehr erkannt wurde, solange dunkler, bis gleich gute Lesbarkeit vorhanden war. Die Anordnung und die Einstellung der Weifslichkeitsgleichung war dieselbe wie früher. Es ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 12

Vp.	Rot verdunkelt um	Entfernung der Leseproben
Feu.	19¼ Grad	1,10 m
Hil.	15½ „	1,10 „
Neu.	17½ „	0,65 „
Met.	16½ „	0,65 „
Frl. Ru.	17½ „	1,10 „
Dr. Fr.	21 „	0,35 „
Nol.	21 „	1,10 „
Dr. Fr.	4 Grad	0,80 m
Nol.	7½ „	1,50 „

Die Zahlen der ersten Vertikalreihe geben an, um wieviel Grad die anfangs nicht gegeneinander verschobenen Scheiben des Episkotisters, der sich ja im roten Strahlengang befand, gegeneinander verschoben werden mufsten, damit die Lesbarkeit im roten und blauen Licht gleich wurde. In der Ausgangsstellung des Episkotisters beträgt die Zahnbreite stets $22\,^1/_2{}^0$, so dafs also z. B. in der ersten Zeile eine Verdunkelung um $19\,^1/_4{}^0$ eine Zahnbreite von $22\,^1/_2{}^0 + 19\,^1/_4{}^0 = 41\,^3/_4{}^0$ bedeutet. Die Werte bilden also ein Mafs für den Unterschied zwischen gleicher Weifslichkeit und gleicher Lesbarkeit bzw. Formenerkennbarkeit. Die Entfernung für Normalsichtige betrug 1,10 m; sie mufste für die verschiedenen Vpn. je nach ihrer Sehschärfe verschieden grofs bemessen werden.

Aus diesen Reihen ergibt sich, dafs trotz eindrucksgleicher Weifslichkeit von rotem und blauem Licht die Formenerkennbarkeit in rotem Licht ganz wesentlich gröfser ist, was mit den von Pauli und anderen erhaltenen Ergebnissen im besten Einklang steht.

Bemerkt sei noch, dafs in beiden Tabellen 11 und 12 die Weifslichkeitseinstellung „Rot soeben etwas dunkler als Blau" — also Ungleichheitseinstellung — zugrundeliegt. Die unmittelbare Einstellung auf Gleichheit ist ja immer mit Schwierigkeiten und damit Unsicherheiten behaftet. Bei dem eingeschlagenen Verfahren ist ausgeschlossen, dafs eine solche Unsicherheit bei der „Gleichheitseinstellung" für die Erscheinung verantwortlich sein kann; denn, obgleich infolge der Ungleichheitseinstellung das blaue Licht sogar ein wenig weifslicher ist, sind trotzdem die Bedingungen für die Erkennbarkeit im roten Licht günstiger.

Da an den folgenden Versuchen auch immer einige Farbenblinde (Rotgrünblinde) bzw. Farbenanomale teilnahmen, war es nötig, zur Klärung der Frage, ob diese zu den Untersuchungen herangezogen werden durften, mit ihnen einige besondere Versuche anzustellen, um zu entscheiden, ob bei diesen Vpn.

1. das Purkinjesche Phänomen vorhanden ist; ferner ob
2. der zuletzt beschriebene Versuch bei ihnen entsprechende Ergebnisse liefert wie bei Farbentüchtigen.

Zunächst konnte mit den Stillingschen Prüfungstafeln und durch Darbietung von Weifslichkeitsgleichungen normaler, farbentüchtiger Vpn. festgestellt werden, dafs die Vpn. Rit., Ric., Kin. Deuteranopen waren, Vp. Dan. Protanop und Web. rot-anomal.

Die Prüfung auf das Vorhandensein des Purkinjeschen Phänomens wurde so ausgeführt, dafs die Vp. mit dem Rücken am Fenster safs. 1 m vor ihr standen verschiedene aus Karton geschnittene Tafeln von der Gröfse 4×8 cm, auf die je ein rotes und ein blaues Quadrat von der Seitenlänge 4 cm aufgeklebt war. Das rote Quadrat war für Farbentüchtige sicher nie dunkler als das blaue, eher etwas heller (weifslicher). Die Vp. suchte sich nun diejenige Tafel heraus, in der ihr das rote Objekt möglichst weifslich und sicher nicht dunkler als das blaue erschien. Mit diesem Objekt wurde dann der folgende Versuch angestellt. Das Zimmer wurde verdunkelt und nach 5 Min. der Raum langsam durch Hochziehen der Jalousie des zweiten Fensters, das ziemlich weit entfernt war, so weit erhellt, bis die Vp. die Tafel auftauchen sah und ein Urteil abgeben konnte, welche Seite ihr weifslicher erschien. Es zeigte sich dabei stets das Auftreten des Purkinjeschen Phänomens; denn das blaue Quadrat wurde als „fast weifs" angesprochen, während das rote schwarz erschien. Es dürfte diese Erscheinung mit den Anschauungen G. E. Müllers im besten Einklang stehen, wie denn auch eine entgegenstehende Angabe Rählmanns (*Ztschr. f. Augenheilk.* 1899), dafs an einer Farbenblinden kein Purkinjesches Phänomen nachweisbar sein sollte, von G. E. Müller auf eine unzweckmäfsige Untersuchungsmethode zurückgeführt wird.

Ferner veranstalteten wir nach einer ähnlichen Methode, wie sie in den vorhergehenden Versuchen beschrieben wurde, Sehschärfenmessungen und fanden bei allen fünf Vpn., dafs die Sehschärfe im roten Licht wesentlich gröfser als im blauen Lichte war. Es bestand also kein Bedenken dagegen, die Farbenuntüchtigen gegebenenfalls auch weiterhin zu den Versuchen heranzuziehen.

Um auch noch auf einem anderen Wege die Sehschärfe-

---

[1] G. E. Müller, Typen der Farbenblindheit. Göttingen 1924.

verhältnisse zu prüfen, beschlossen wir, im roten und blauen Licht einmal die Frequenz zu messen, die nötig ist, um auf einem Farbkreisel schwarze und weifse Sektoren zur Verschmelzung zu bringen, so dafs soeben der Eindruck einer gleichmäfsig grauen Scheibe entstand. Zu dem Zwecke wurden zwei rein weifse Kartonscheiben von 25 cm Durchmesser benutzt, auf denen je ein tuchschwarzes Kreuz, — wie die Figur 3 zeigt —, aufgeklebt war. Die Scheiben liefen zunächst zwecks Einstellung der Weifslichkeitsgleichung auf zwei Kreiselmotoren, die im roten bzw. blauen Strahlengang im Abstand von 1 m nebeneinander standen. Vor der Mitte jeder Scheibe befand sich noch ein kleiner Kreis aus tuchschwarzem Papier, der dazu diente, die glänzende Schraube

Fig. 3

auf der Kreiselachse abzublenden und gleichzeitig Fixationszeichen war. Der Hintergrund war mit dunkelgrauem Papier verkleidet, und die Vp. sah durch die Pappröhre, so dafs jegliche Beeinflussung der Adaptation vermieden wurde. Die Vp. safs in einer Entfernung von 1,5 m und wurde, um das Auftreten von Nachbildern zu vermeiden, ersucht, zwischen je zwei Beobachtungen die Augen stets geschlossen zu halten.

(Wurde nun die Einstellung der Weifslichkeitsgleichung versucht, so zeigte sich im roten Licht eine zunächst überraschende Erscheinung. Das schwarze Kreuz auf der Scheibe schien trotz rascher Drehung der Scheibe fast still zu stehen. Die Erklärung fand sich alsbald in der Tatsache, dafs die rote Scheibe durch das Sektorenrad des Musilkreisels hin-

durch nur intermittierend Licht bekam. Dies geschah jedesmal dann, wenn das Kreuz auf der Scheibe wieder fast die gleiche Lage hatte wie bei der letzten Belichtung. Dies Phänomen störte die Beobachtung.)

Der im roten Strahlengang befindliche Episkotister mufste daher ausgeschaltet werden, was ja bei dieser Versuchsreihe ohne Umstände angängig war. War auf gleiche Weifslichkeit eingestellt, — durch Änderung der Helligkeit der blauen Lampe, was durch Regulierung des Dunkelschalters geschah, — so wurde der eine Kreiselmotor durch den Musilapparat ersetzt. Der Vorteil war der, dafs 1. die Geschwindigkeit des treibenden Motors leichter verändert werden und 2. mit dem Musilapparat leichter ein als Geschwindigkeitsmesser dienendes Zahnradgetriebe verbunden werden konnte. Um bei der vom Musilapparat zum Geschwindigkeitsmesser gehenden Transmission jede Gleitung zu vermeiden, wurde dazu ein sogenanntes Kouponbändchen verwandt, das sich stets sehr gut bewährt hat. So konnte durch Beobachtung der Umdrehungszahl eines geeigneten Zahnrades festgestellt werden, wie oft sich die grofse Scheibe gedreht hatte. Es kamen dabei auf eine Umdrehung des beobachteten Zahnrades 400 Umdrehungen der Scheibe. Wurde noch die Zeit gemessen, in der eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen des grofsen Rades erfolgte, so kannte man damit die Geschwindigkeit des Rades.

Ersetzte man nacheinander jedesmal den einen Kreiselmotor durch den Musilapparat, so konnten bei scheinbar gleicher Weifslichkeit von rotem und blauem Licht die verschiedenen Verschmelzungsfrequenzen gemessen werden. Um sicher zu gehen, wurde die Weifslichkeitsgleichung nach jeder Frequenzmessung noch einmal kontrolliert. Ein Versuch wurde nur dann verwertet, wenn die Gleichheitseinstellung unverändert anerkannt wurde.

Es ergab sich nun folgende Tabelle 13, deren Ziffern die Anzahl von Umdrehungen angeben, die die Scheibe in 1 Sek. ausführt.

Die angegebenen Zahlen bilden das Mittel von je 4 bzw. 8 Messungen. Die Ziffern in Spalte 2—5 geben die Zahlenwerte an, die sich ergeben, wenn die Weifslichkeitseinstellung „Blau weifslicher oder gleich ($\geq$) Rot“, die Ziffern in Spalte 6—9

Tabelle 13

Vp.	Scheibe in blauem Licht Weifslichkeitseinstellung: Blau flimmerfrei bei ≥ Rot flimmert bei				Blau flimmerfrei bei ≤ Rot flimmert bei				Scheibe in rotem Licht dauernde Einstellung des roten Lichts flimmerfrei bei		flimmert bei	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
	Einstellung des Motors											
Dr. Fr.	3,78	3,59	3,69	3,02	3,30	—	3,92	—	4,95	—	4,79	—
Sta.	—	—	3,68	—	4,21	—	3,44	—	5,65	—	5,05	—
Fer.	4,12	—	3,08	—	2,705	—	2,24	—	6,68	—	6,28	—
Web.	4,42	—	4,10	4,06	4,20	—	4,35	—	4,82	4,67	4,97	—
Tas.	4,80	—	4,15	—	4,76	—	4,35	—	5,30	—	5,38	—
Ste.	3,78	—	3,61	—	3,84	3,75	3,51	3,47	4,98	5,92	4,21	4,69
Jam.	3,62	—	3,12	—	3,33	—	2,96	—	4,97	—	4,60	—
Ha.	3,72	—	3,35	—	3,10	—	2,97	—	4,78	—	4,45	—
Frl. Ru.	3,70	—	3,18	—	3,33	—	2,99	—	4,05	—	3,98	—
Frl. Ap.	3,35	—	3,45	—	3,12	—	2,95	—	4,15	—	4,14	—
Gru.	4,23	—	3,92	—	—	—	—	—	4,59	—	4,38	—
Dr. Bö.	3,98	—	3,17	—	2,81	—	3,49	—	4,80	—	4,54	—
Frl. Gi.	3,83	—	3,48	—	3,80	—	3,40	—	5,05	—	3,98	—
Jsr.	3,68	—	3,12	—	3,50	—	2,54	—	8,36	—	4,21	—

geben die Zahlenwerte an, die sich ergeben, wenn die Weifslichkeitseinstellung „Blau dunkler oder gleich (≦) Rot" gilt. Es ist also wieder der ganze Bereich untersucht, in dem die Unentschiedenheit (sog. „Gleichheit") der Weifslichkeit besteht, und wir machen uns so von der bei „optimaler Gleichheitseinstellung" herrschenden Unsicherheit unabhängig.

Das Ergebnis unseres Versuchs läfst sich in die Worte fassen: Bei eindrucksgleicher Weifslichkeit von rotem und blauem Licht verschmelzen im blauen Licht die schwarzen und weifsen auf einem Farbkreisel angebrachten Sektoren zu einheitlichem Grau leichter als im roten Licht. Die Verschmelzungsfrequenz im blauen Licht ist geringer als im roten Licht, was mit dem obigen Sehschärfebefund eng zusammenhängen dürfte.

Im Anschlufs an den vorigen Versuch hielten wir es nun auch für angebracht, einmal nachzuforschen, wann sich die Veränderung eines gegebenen Grautons im roten und blauen Lichte bemerkbar macht. Es sollte also die sog. „Unterschiedsschwelle" gemessen werden. Zu dem Zwecke hatten wir an unserer Anordnung einige kleine Änderungen vorzunehmen und andere Scheiben zu verwenden. Die auf den Kreiseln befindlichen grauen Felder, von denen wir ausgehen, bestehen aus 60° Magnesiumweifs + 300° Grau. Dieses Grau ist äquivalent 330° Tuchschwarz + 30° Magnesiumweifs. Diese Zusammensetzung der Scheiben bestand auf beiden Kreiselmotoren. Auf diese Scheiben wurde das rote bzw. blaue Licht geworfen und die Weifslichkeit der farbigen Beleuchtungen wieder auf den Bereich der „gröfstmöglichen Unentschiedenheit" eingestellt. Auch auf dem Musilkreisel wird aufsen und innen das gleiche Grau hergestellt, indem je ein dunkelgrauer 300° grofser Sektor mit einem 60° grofsen magnesiumweifsen Sektor zusammengeklebt wird (a, b in Fig. 4). Zwischen a und b, dem äufseren und dem inneren Feld, liegt eine dritte Kombination desselben Dunkelgrau + Weifs, in der die weifse und dunkelgraue Scheibe mit Schlitzen versehen, ineinander gesteckt und gegeneinander verschieblich sind. Das Verhältnis des weifsen und grauen Sektors wird so lange geändert, bis sich der entsprechende Teil der Scheibe eben merkbar als ein $^3/_4$ cm breiter

Ring vom Grunde abhebt. Die Aufstellung der beiden Projektionslampen war wieder wie früher. Um die unvermeidliche, wenn auch sehr geringe Schattenwirkung der verschiedenen auf dem Musilkreisel befindlichen Kreisringe aufeinander unsichtbar zu machen, wurden die Kreiselhälften, auf denen solche Schatten auftreten konnten, einschliefslich der Achsenschraube durch je einen dunkelgrauen Schirm abgedeckt, der dieselbe Weifslichkeit wie die Scheiben besafs. Bei sämtlichen verwandten Graupapieren war sorgfältig darauf geachtet worden, dafs sie keinen farbigen Ton enthielten, wodurch sich bei roter und blauer Beleuchtung eine verschiedene Weifslichkeit der Papiere bemerkbar gemacht hätte.

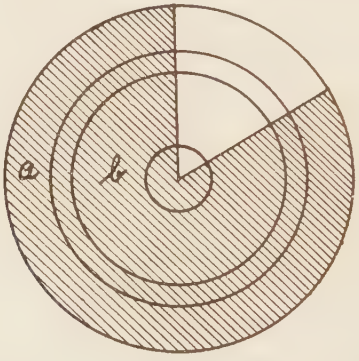

Fig. 4

Nach Herstellung der Weifslichkeitsgleichung wurde in Rot genau an die Stelle des Kreiselmotors der Musilapparat gebracht und der mittlere, zwischen a und b gelegene, variable Sektor in seiner Gröfse so lange geändert, bis sich der entsprechende Teil der Scheibe eben merklich als Ring vom Grunde abhob. Diese Einstellungen wurden sowohl aufsteigend wie absteigend vorgenommen, zusammen 6 mal. Nach Entfernung des Musilapparats und Ersetzung desselben durch den Kreiselmotor wurde dann die Weifslichkeitsgleichung nochmals kontrolliert bzw. durch Korrektion der Lichtstärke des blauen Strahlengangs (Änderung der Stellung des Dunkelschalters) wiederhergestellt. Es wurde nun ebenso die „Unterschiedsschwelle“ in Blau gemessen und schliefslich die Weifslichkeitsgleichung nochmals kontrolliert. — Die folgende Tabelle 14, deren Zahlen Grade bedeuten, enthält die Ergebnisse.

Tabelle 14

Vp.	Deutliches Sichabheben des mittleren Ringes erfolgt in			
	Rot bei einem Schwarzzusatz	Blau bei einem Schwarzzusatz	Rot bei einem Weifszusatz	Blau bei einem Weifszusatz
Met.	16, 21, 21	42, 45, 46	32, 36, 40	70, 60, 53
Wer.	16, 23, 20	39, 57, 45	48, 40, 40	116, 90, 111
Frl. Schu.	31, 28, 22	57, 57, 56	40, 37, 33	116, 101, 110
Web.	32, 30, 31	36, 38, 39	54, 57, 55	75, 72, 80
Frl. Ap.	33, 20, 25	51, 50, 47	30, 35, 33	71, 69, 70
Neu.	19, 24, 22	35, 39, 38	36, 44, 38	60, 50, 54
Frl. Nie.	21, 18, 20	47, 43, 46	36, 36, 37	60, 60, 60
Frl. Gi.	19, 24, 22	50, 47, 52	34, 38, 30	75, 90, 82
Fer.	15, 19, 15	32, 35, 33	33, 42, 35	82, 83, 80
Jam.	40, 44, 44	60, 60, 60	50, 60, 57	115, 110, 108
Ste.	32, 30, 30	55, 57, 55	50, 64, 54	82, 81
Hah.	30, 23, 25	42, 42, 44	24, 34, 24	84, 80, 79
Web.	45, 42, 44	60, 62, 59	74, 76, 76	85, 95, 92
Ket.	16, 16, 17	26, 28, 27	24, 26, 24	90, 92, 93

Die Ergebnisse lehren, dafs die Schwelle für die Merkbarkeit des Weifslichkeitsunterschiedes im roten Licht niedriger liegt, dafs hier also der Weifslichkeitsunterschied rascher bemerkt wird als im blauen Licht, was wieder mit dem Befund der gröfseren Sehschärfe im roten Licht durchaus im Einklang steht. Dafs auch hier die unvermeidliche Ungenauigkeit der Einstellung auf gleiche bzw. unentschiedene Weifslichkeit die Erscheinung nicht etwa vorgetäuscht hat, geht daraus hervor, dafs auch in den beiden letzten Zeilen die Ergebnisse dieselben sind wie vorher, obgleich diese beiden Versuche bei der Einstellung: „Blau soeben sicher weifslicher als Rot" erfolgten, also unter Zugrundelegung einer Ungleichung und damit unter Einführung eines solchen Fehlers stattfanden, der unseren Ergebnissen entgegenwirken mufste. Auch eine Adaptationsänderung während der Dauer des Versuchs konnte nur in dem dem Phänomen entgegengesetzten Sinne wirken, weil durch fortschreitende Dunkeladaptation die Empfindlichkeit innerhalb der kurzen Wellen nur stärker werden kann.

Wir sehen aber, dafs diese Faktoren viel zu gering sind, um sich störend bemerkbar zu machen.

Ehe wir nun die Frage der Sehschärfe im roten und blauen Licht mit den damit zusammenhängenden Erscheinungen verlassen, sei noch kurz auf das Verhalten der Tiefenwahrnehmung, genauer, auf die Auswertung der Querdisparation eingegangen. Wir verwandten bei den Untersuchungen hierüber zwei Horoptoskope. Das Horoptoskop dient dazu, drei Fäden darzubieten und den Seitenabstand, vor allem aber den Tiefenabstand der Fäden voneinander zu verändern. Der Apparat besteht aus einem Gestell, welches oben drei parallele, vom Beobachter aus gesehen, in die Tiefe verlaufende Schienen trägt. An ihnen sind die Fäden in verschiebbarer Weise aufgehängt, so dafs ihre Tiefenabstände verändert werden können. Eine an den Schienen angebrachte Skala ermöglicht die Ablesung der Fadenstellung und damit auch der Tiefenabstände. Die Schienen und damit die Fäden können auch in seitlicher Richtung gegeneinander verschoben werden; auch hier ermöglicht eine Skala die Ablesung. Vor jedem der beiden 1,25 m von der Vp. entfernten Horoptoskope befindet sich ein Vorsatzschirm mit einem Ausschnitt von der Gröfse 38×135 mm. Als Hintergrund war hinter jedem der beiden Fadentripel ein Blatt weifses dünnes Pergamentpapier angebracht, das von den etwa $^3/_4$ m entfernten Projektionslampen von hinten her gleichmäfsig rot bzw. blau durchleuchtet wurde. Die Vp. safs jetzt etwa im Schnittpunkt der beiden Strahlengänge, die aber natürlich so abgeblendet waren, dafs nur Licht durch den Ausschnitt der Horoptoskope hindurchtreten konnte (s. Fig. 2). Aufserdem bediente sich die Vp. wieder des Pappzylinders. Vor Anstellung des Versuchs wurde nach Wegnahme der Fäden auf gleiche Weifslichkeit des Hintergrundes eingestellt. Darauf führten wir die Fäden wieder ein und hängten sie in einem seitlichen Abstand von je 5 cm voneinander in einer Ebene auf. Wir veränderten die Lage des Mittelfadens und stellten fest, wann er soeben deutlich vor oder hinter die beiden anderen Fäden zu treten schien. Dabei wurden, um Nachbilder zu vermeiden, die Ausschnitte stets nur kurze Zeit dargeboten, nur so lange als nötig war, damit die Vp. ein

Urteil über die jeweilige Fadenstellung abgeben konnte. An diesen ersten schlofs sich ein zweiter Versuch, bei dem die Fäden zunächst so aufgehängt wurden, dafs im Grunddreieck des Fadenprismas die Höhe gleich der zum Beobachter frontparallelen Basis, gleich 100 mm war. Jetzt wurde gefragt, ob der Tiefenabstand in Rot und Blau gleich grofs erscheine, oder ob und in welcher Richtung ein Unterschied vorhanden sei. Alsdann wurde im roten Licht ein Tiefenabstand hergestellt, der ebenso grofs erschien wie der im blauen Lichte. Wie aus Tabelle 15 hervorgeht, wird die gleiche Querdisparation im Rot stärker ausgewertet als im Blau; bei gleicher Querdisparation ist der scheinbare Tiefenabstand im Rot gröfser als im Blau.

Tabelle 15

Vp.	Mittelfaden erscheint vorn bei wirklichem Tiefenabstand in		hinten bei wirklichem Tiefenabstand in		Scheinbar gleiche Tiefe bei wirklichem Tiefenabstand in		Bemerkungen
	Rot	Blau	Rot	Blau	Rot	Blau	
	(Zahlen in mm)						
Web.	12	100	12	125	22	100	Blau etwas weifslicher für mich Rote Fäden dicker und näher
Jam.	14	53	16	196	20	100	Rote Fäden scheinbar dicker und näher
Nol.	1,5	12,5	1,5	5	97	100	—
Frl. Ap.	12	110	12	77	25	100	Rote Fäden scheinbar dicker und näher
Met.	60	65	60	100	70	100	dgl.
Feu.	15	23	15	23	65	100	dgl.
Gru.	3	5	11	30	100	100	dgl.
Ste.	8	22	22	37	75	100	dgl.
Frl. Kel.	6	13	9	19	87	100	dgl.
Rup.	kein Tiefeneindruck				40	100	dgl.
Wil.	4	14	32	250	30	100	dgl.
Sta.	7	10	19	22	95	100	Rote Fäden scheinbar dicker
Fer.	10	20	20	30	92	100	dgl.

Bemerkenswert ist, dafs für fast alle Vpn. die Fäden bei roter Beleuchtung (in der Tabelle kurz „rote Fäden“) auch dicker und näher erscheinen. Die blauen scheinen „in nebelhafte Ferne gerückt“ zu sein. Dafs die Zahlen in Spalte 4 und 5 fast stets gröfser sind als in Spalte 2 und 3 ist am einfachsten wohl daraus zu erklären, dafs der Mittelfaden durch die aufmerksame Betrachtung leichter nach vorn lokalisiert wird als nach hinten, eine Tendenz, zu deren Überwindung allein schon der Mittelfaden um einen kleinen Betrag rückwärts verschoben werden mufs. — Bei den in Spalte 6 und 7 wiedergegebenen Ergebnissen ist zu bemerken, dafs für emmetrope Vpn. die Tiefendifferenzen besser als für Kurzsichtige wahrzunehmen waren.

Auch hier wollen wir noch zwei Versuche anführen, bei denen zum Unterschied von den vorhergehenden nicht von der optischen Weifslichkeitsgleichung ausgegangen wurde, sondern von einem Punkte, wo Blau soeben sicher weifslicher erschien als Rot. Es ergab sich dabei die folgende Tabelle.

Tabelle 15a

Vp.	Mittelfaden erscheint vorn bei wirklichem Tiefenabstand in (Zahlen in mm)		hinten bei wirklichem Tiefenabstand in (Zahlen in mm)		Scheinbar gleiche Tiefe bei wirklichem Tiefenabstand in (Zahlen in mm)		Bemerkungen
	Rot	Blau	Rot	Blau	Rot	Blau	
Fer.	8	12	5	10	75	100	Rote Fäden dicker
Mül.	4	5	4	8	95	100	dgl.

Es folgt daraus, dafs die Ungenauigkeit bei Einstellung der optischen Weifslichkeitsgleichung sicher so geringfügig ist, dafs eine Beeinträchtigung der gefundenen Ergebnisse dadurch nicht wird erfolgen können.

5. Kapitel

Weißlichkeitsänderungen infolge schwächerer bzw. stärkerer Mitwirkung des Formensehens

§ 1. Hauptversuche

Wir gehen nun dazu über, eine Erscheinung zu behandeln, die auf den ersten Blick ungemein auffallend ist und im Interesse unseres Gegenstandes genauer analysiert werden muſs. Beleuchten wir nämlich zwei objektiv gleiche weiſse Gegenstände (z. B. Vasen oder Eierbecher) mit rotem und blauem Licht, das zuvor auf groſsen weiſsen Kartons auf gleiche Weiſslichkeit eingestellt war, so erscheint trotzdem der rot beleuchtete Gegenstand nicht nur deutlicher, d. h. besser erkennbar, was ja nach Vorhergehendem selbstverständlich ist, sondern auch auffallend weiſslicher. Gegenüber dem schon dargelegten Verhalten der Sehschärfe stellt diese Erscheinung etwas Neues dar; denn Zunahme der Sehschärfe brauchte an sich nicht Zunahme der scheinbaren Weiſslichkeit zu bedingen. Bei der Erklärung dieses Phänomens ist zu beachten, daſs die Weiſslichkeitsgleichung für Rot und Blau stark von der Gröſse der farbigen Fläche abhängig ist. R. Pauli sagt über den letzteren Punkt: „Die Intensität farbiger Flächen variiert mit ihrer Gröſse und zwar in einem Sinne, der dem des Purkinjeschen Phänomens entgegengesetzt ist. Bei Verkleinerung der Flächen erscheint das langwelligere Licht heller, wenn vorher Gleichheit bestanden hat.“ Diese Erscheinung dürfte ihre Begründung schon im Fehlen des Purkinjeschen Phänomens im Netzhautzentrum finden. Allein es lieſs sich leicht zeigen, daſs der scheinbare Weiſslichkeitszuwachs beim detailreichen Objekt auch dann auftrat, wenn vorher bei der Aufstellung der Weiſslichkeitsgleichung als Projektionsgrund ein Karton gedient hatte, der nicht gröſser war als das Objekt selbst. Es waren detailreiche Objekte herzustellen, bei denen doch eine Vergleichung der Weiſslichkeit einen bestimmten angebbaren Sinn hat, der ja bei sehr komplizierten Objekten, innerhalb deren die Weiſslichkeit von Stelle zu Stelle verschieden ist, nicht vorhanden wäre.

Ein solches Objekt wurde in folgender Weise hergestellt: Holzstäbe von 13,5 cm Länge und quadratischem Querschnitt (10 × 10 mm) wurden mit reinweifsem Papier sauber überzogen und im Abstand von je 5 mm auf einem weifsen Pappkarton von der Gröfse 13,5 × 11,5 cm aufgeklebt (Täfelchen I. Sorte). Entsprechendes geschah mit dünneren Stäbchen gleicher Länge vom Querschnitt 2,5 × 10 mm (Täfelchen II. Sorte) und noch dünneren weifsen Kartonstreifen gleicher Länge vom Querschnitt 0,6 × 10 mm (Täfelchen III. Sorte). Die so hergestellten Täfelchen waren somit reich an Einzelheiten, und diese waren entsprechend der gröfseren oder geringeren Tiefendifferenz (zwischen der dem Auge zugekehrten Vorderfläche der Stäbchen und dem Grund) mehr oder weniger deutlich zu erkennen. Das Weifs des Kartons war eine Spur heller als das des weifsen Stäbchenüberzugs, ein Umstand, der für einige spätere Versuche nicht ohne Wichtigkeit ist. Farbenbeimengungen des Weifs, die im Sinne des Versuchsergebnisses hätten wirken können, waren nicht vorhanden.

Wurde nun ein Täfelchen der I. Sorte betrachtet und darauf ein Täfelchen der II. und III. Sorte, so war es stets möglich, die Entfernung so zu wählen, dafs die Stäbchen der I. Sorte noch deutlich gesehen wurden, während sie bei der II. Sorte nicht mehr so deutlich zu erkennen waren und bei der III. Sorte nur noch dünne Striche soeben andeutungsweise erschienen, die durch die Schatten der Pappstreifen entstanden. Eine solche Entfernung wurde zunächst für jede Vp. festgestellt und bei den weiteren mit ihr angestellten Versuchen beibehalten. Der übrige Aufbau war so, wie vorhin beschrieben. Die Vp. safs gleich weit von den Projektionslampen entfernt. Die Abschwächung des roten Lichtes wurde wieder durch den Episkotister gemessen. Die weifsen Täfelchen standen vor tiefdunklem Grund, vorläufig verdeckt durch gleich grofse weifse Kartons (13,5 × 11,5 cm), auf denen für die eingenommene Entfernung die Weifslichkeitsgleichung zwischen den roten und blauen Lichtern hergestellt wurde. Danach boten wir der Reihe nach die Täfelchen I, II, III dar und stellten jedesmal auf gleiche Weifslichkeit und gleiche Formerkennbarkeit der betreffenden Stäbchen im roten und blauen Lichte ein.

Das Ergebnis zeigt Tabelle 16. Die Zahlen geben an, um wieviel Grad die Scheiben des Episkotisters gegeneinander verschoben werden mufsten, damit jeweils auf Gleichheit der Weifslichkeit bzw. Formerkennbarkeit eingestellt war. Sie geben also ein Mafs für die Abschwächung des roten Strahlengangs, der ursprünglich (bei Beleuchtung der Kartons) mit dem blauen gleich weifslich zu sein scheint. Die Zahlen haben dieselbe Bedeutung wie in den früheren Episkotisterversuchen. So bedeutet z. B. der Wert 16, dafs die Zähne des Episkotisters von der ursprünglichen Gröfse $22\,^1/_2{}^0$ auf $22\,^1/_2{}^0 + 16^0 = 38\,^1/_2{}^0$ vergröfsert werden mufsten.

Tabelle 16

Vp.	Entfernung in m	Tafeln der Sorte I. Einstellung auf gleiche Weifslichkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:	Tafeln der Sorte I. Einstellung auf gleiche Formerkennbarkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:	Tafeln der Sorte II. Einstellung auf gleiche Weifslichkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:	Tafeln der Sorte II. Einstellung auf gleiche Formerkennbarkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:	Tafeln der Sorte III. Einstellung auf gleiche Weifslichkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:	Tafeln der Sorte III. Einstellung auf gleiche Formerkennbarkeit in beiden Beleuchtungen. Die Abschwächung des roten Lichtes beträgt in Grad:
Pet.	3,—	16	18	$7\,^1/_2$	$15\,^1/_4$	$0—2\,^1/_2$	5
Sta.	3,50	15	18	9	20	5	$7\,^1/_2$
Jsr.	2,50	$17\,^1/_2$	20	$15\,^3/_4$	$21\,^3/_4$	$7\,^1/_2$	$7\,^1/_2$
Feu.	2,40	$12\,^1/_2$	20	$7\,^1/_2$	21	0—2	5
Frl. Nie.	2,35	$15\,^1/_2$	$17\,^1/_2$	$7\,^1/_2$	$19\,^1/_4$	5	$7\,^1/_2$
Prof. J.	2,—	17	19	14	19	—	—
Dr. Fr.	1,50	7	$12\,^1/_2$	6	$13\,^1/_2$	3	5
Neu.	1,25	15	20	$12\,^1/_2$	19	11	19
Tas.	1,50	$12\,^1/_2$	19	15	21	0	8
Ste.	1,80	15	$19\,^1/_4$	$17\,^1/_2$	$17\,^1/_2$	—	—
Nol.	2,50	$12\,^1/_2$	$17\,^1/_2$	13	20	5	$7\,^1/_2$
Frl. Ru.	2,50	10	21	5	19	4	$7\,^1/_2$
Frl. Gi.	1,50	8	20	12	19	$6\,^1/_2$	10

Bei Tafel III wurde meist im Blau gar nichts mehr erkannt; im Rot waren soeben Striche angedeutet. Daher war auch zwischen Rot und Blau bei den Tafeln III kaum ein Erkennbarkeitsunterschied wahrnehmbar, wenngleich er bei geeigneterer Vorlage sofort sichtbar zu machen war. Es war daher auch

der scheinbare Weifslichkeitszuwachs des Rot bei den Tafeln III sehr geringfügig. — Bei den Tafeln II ist der Unterschied der Formerkennbarkeit im roten und blauen Licht besonders stark. Dementsprechend ist auch der scheinbare Weifslichkeitszuwachs in Rot recht grofs, vielfach gröfser als bei den Tafeln I, wo auch die im blauen Licht befindliche Tafel noch relativ gut und scharf erkannt wird und die Unterschiede der Formerkennbarkeit nicht ebenso stark sind. Aus allem folgt, dafs sobald ein gewisser Erkennbarkeitsunterschied zwischen dem rot und blau beleuchteten Objekt vorhanden ist, auch mehr oder weniger stark ein Weifslichkeitsunterschied auftritt. Um auch hier das Bedenken auszuschalten, dafs die unvermeidliche Schwankungsbreite der Einstellungen auf gleiche bzw. unentschiedene Weifslichkeit die Ergebnisse vorgetäuscht hätte, wurden noch einige Versuchsreihen angestellt, in denen von einer Weifslichkeitsungleichung der homogenen Felder: „Blau soeben sicher weifslicher als Rot“ ausgegangen wurde. Es seien noch zwei solcher Untersuchungen angeführt.

Vp. Nol. Entfernung: 2,50 m.

Darbietung der Tafeln I: Zunächst erscheint Rot weifslicher als Blau. Erst bei Abdunklung um 9° wird Blau soeben wieder sicher weifslicher. Ebenso ist zunächst in Rot bessere Formerkennbarkeit vorhanden. Erst bei Abdunklung um 15° wird die Formerkennbarkeit im Blau besser.

Bei Darbietung der Tafeln II zeigten sich entsprechende Resultate. Hier wurde beim Weifslichkeitsvergleich eine Abdunklung von 11°, beim Vergleich der Formerkennbarkeit eine solche von 13,5° erforderlich.

Bei Darbietung der Tafeln III wurde nichts mehr erkannt. Daher zeigten sich auch keine Weifslichkeitsänderungen gegenüber der vorhergehenden Einstellung auf dem homogenen Karton.

Bei Vp. Dr. Fr. betrug die Entfernung 1,50 m.

Die Darbietung der Tafeln I ergab dieselben Verhältnisse wie bei Vp. Nol. Die notwendige Abdunklung des roten Lichtes betrug beim Weifslichkeitsvergleich 9°, beim Vergleich der Formerkennbarkeit 13°.

Bei Darbietung der Tafeln II war beim Vergleich der

Formerkennbarkeit eine Abdunklung des Rot um $6^{3}/_{4}{}^{0}$ notwendig. Weifslichkeitsänderungen gegenüber der auf dem homogenen Karton erfolgten Einstellung zeigten sich nicht.

Bei Darbietung der Tafeln III zeigten sich überhaupt keine Abweichungen gegenüber der Einstellung auf dem Karton, auch wurden keine Streifen mehr erkannt.

Es ist also auch hier wieder ganz deutlich, dafs der Weifslichkeitsunterschied verschwindet, wenn der Unterschied in der Formerkennbarkeit verschwindet oder minimal wird.

§ 2. Kontrollversuche zur Sicherung der erzielten Ergebnisse und ihrer Deutung

Man könnte vielleicht noch daran denken, die Erscheinung auf einen schon bekannten Tatbestand, nämlich auf das Fehlen des Purkinjeschen Phänomens in der Fovea zurückzuführen. Die Täfelchen und der weifse Karton überragen zwar sicherlich das Gebiet der Fovea, die das genaueste Formerkennen besitzt. Nun bietet aber der weifse Karton dem deutlichen Erkennen und Formensehen keine Aufgabe. Infolgedessen könnte es möglich, ja — nach früher angestellten Versuchen — wahrscheinlich sein, dafs hier nicht das ganze Feld mit der Fovea und mit wanderndem Blick sozusagen abgetastet wird, sondern der Eindruck mafsgebend ist, den man mit ruhendem Auge, also vorwiegend auch von den seitlichen Teilen der Netzhaut erhält. Es ist anzunehmen, dafs die Fovea in diesem Falle nicht mehr überwiegend und nicht mehr hauptsächlich beteiligt ist. Wo dagegen scharf erkennbare Einzelheiten vorhanden sind, liegt es nahe, die betreffenden Objekte mit wanderndem Blick zu betrachten und so mit der Fovea gleichsam abzutasten. In solchem Falle — also bei Darbietung der Tafeln I, II, III — betätigt sich darum in ausgiebigerem Mafse das foveale Sehen, und daher dürfte sich der Einflufs der Fovea auch in gesteigertem Mafse bei Aufstellung der Weifslichkeitsgleichungen geltend machen. In dieser Weise könnte man versuchen, das Ergebnis unserer Versuche zu erklären. Eine Stütze würde diese Erklärung auch noch darin finden, dafs man bei Betrachtung einer

schlichten, einfarbigen Fläche im allgemeinen gar nicht scharf auf diese Fläche akkommodiert, wodurch sich die Beteiligung der Fovea am Sehen noch weiter vermindern würde.

Um nachzuprüfen, ob diese Erklärung stichhaltig und hinreichend sei, waren wir daher gezwungen, den Versuch im indirekten Sehen unter wenig abgeänderten Bedingungen noch einmal zu wiederholen. Die Täfelchen I, II, III und ebenso die beiden weifsen Kartons wurden in der Mitte senkrecht zu den Stäbchen durchgeschnitten, die beiden Hälften im Abstand von 22 cm auf einem tiefschwarzen Hintergrund befestigt und in der Mitte dazwischen ein Fixationspunkt angebracht, der aus einem kleinen Stückchen weifsen Papiers bestand. Diese Anordnung wurde sowohl im roten wie im blauen Lichte getroffen. Die homogenen weifsen Kartons wurden zu Anfang darüber gehängt und nach erfolgter Weifslichkeitseinstellung entfernt.

Die Vpn. wurden angewiesen, sich stets nur an den unmittelbaren optischen Eindruck zu halten und an ihn möglichst keine gedanklichen Erwägungen heranzutragen. Um dies sicherzustellen, wurde in Zweifelsfällen der Versuch zeitlich v o r der Weifslichkeitseinstellung ausgeführt, also zunächst auf den Täfelchen die Einstellung vorgenommen und dann erst auf dem Karton. Es ergaben sich jedoch hierbei nie Abweichungen von den anderen Resultaten. Es dürfte weiter auch der Einwand unzutreffend sein, dafs die Vp. noch gewufst hätte, was beim früheren Versuch herausgekommen war, da 1 Monat oder länger zwischen beiden Versuchsreihen lag und die Vpn. auch auf Befragen erklärten, die früheren Ergebnisse nicht mehr so genau in Erinnerung zu haben. Übrigens nahm auch eine ganze Reihe neuer Vpn., die zu den früheren nicht zugezogen worden waren, an den Sitzungen teil. Es erübrigt sich, zu bemerken, dafs den Vpn. nach einer Sitzung nicht Einblick in die Arbeitshypothesen oder die zu erwartenden Ergebnisse gewährt wurde. Die wenigen Vpn., welche von dem Gedankenkreise der Arbeit unterrichtet waren, bemühten sich, gerade deshalb um so kritischer zu verfahren.

Im allgemeinen wurden die Versuche aus 1,50 m Entfernung vorgenommen. In einzelnen Fällen, wo bei der peripheren Betrachtung der Sehwinkel für die Vp. zu grofs

war, als dafs noch gut hätte erkannt werden können, wurde der Abstand bis auf 3 m vermehrt. Es zeigte sich übrigens bei den Versuchen, dafs peripher der Unterschied in der Formerkennbarkeit für rotes und blaues Licht nicht sehr stark ist und mit zunehmendem peripheren Sehen bei verschiedenen Vpn. verschieden rasch abnimmt.

Dafs dies nicht auf Augenbewegungen — mehr oder weniger starkem Abirren vom Fixationspunkt — beruht, glauben wir dadurch sichergestellt zu haben, dafs wir jede Vp. auf die Fähigkeit, indirekt zu beobachten, prüften. Wir befestigten zu dem Behuf auf einem mittelgrauen Grunde eine aus schwarzem Papier geschnittene Pfeilspitze und liefsen sie fixieren, bis sich ein deutliches Nachbild an den Rändern hell andeutete. Dann führten wir seitlich in das Gesichtsfeld einen Gegenstand ein, liefsen die Aufmerksamkeit darauf richten und fragten, ob und in welcher Richtung und Gröfse sich Verschiebungen des weifsen Nachbilds zeigten. Es handelte sich, wenn überhaupt Verschiebungen auftraten, dabei stets um Gröfsen, die auch bei äufserster Seitlichkeit des zu beobachtenden Gegenstands 1,5 cm nie überschritten, meistens sogar erheblich dahinter zurückblieben. Überdies sind bei unseren Versuchen mit Absicht stets zwei seitliche Objekte, nämlich ein gleiches rechts und links vom Fixationspunkt angebracht, um nach keiner Richtung hin Blickbewegungen zu begünstigen und die Festhaltung des Blickes auf dem Fixierpunkt noch sicherer zu gewährleisten. — Es folgen nun die Ergebnisse in Tab. 17.

Die Ergebnisse bei zwei Vpn. weichen von den übrigen ab, indem sich bei ihnen der sonst beobachtete Unterschied der Formerkennbarkeit und der Weifslichkeit nicht zeigt. Dafs solche Abweichungen vorkommen, ist nicht verwunderlich, sondern entspricht den von vornherein zu hegenden Erwartungen. So mufs es gerade sein, wenn unsere Vermutung zutrifft, dafs der Unterschied der Weifslichkeit von dem Unterschied der Formerkennbarkeit abhängt, indem auf dem Wege einer „Einstellung“ bei dem undeutlichen Formenerkennen die entwicklungsgeschichtlich älteren, primordialen optischen Reaktionsschichten und die zu ihnen gehörige Weifslichkeitswerte des Purkinjeschen Phänomens eingeschaltet werden, bei deutlichem Formenerkennen dagegen die jüngeren, höheren

optischen Reaktionsschichten und die vom Purkinjeschen Phänomen abweichenden Weifslichkeitswerte. Da nun die Abnahme der Sehschärfe nach der Peripherie des Gesichtsfeldes hin bei verschiedenen Menschen sehr verschieden grofs ist, so wird auch die Formerkennbarkeit in einem Gebiet von bestimmter Seitlichkeit bei verschiedenen Menschen sehr verschieden gut sein. Ist die Formerkennbarkeit überhaupt minimal, so wird natürlich auch der Unterschied der Formerkennbar-

Tabelle 17

Vp.	Entfernung in m	Tafeln der Sorte I. Einstellung auf Weifslichkeit (Rotabschwächung in Grad)	Tafeln der Sorte I. Einstellung auf Formerkennbarkeit (Rotabschwächung in Grad)	Tafeln der Sorte II. Einstellung auf Weifslichkeit (Rotabschwächung in Grad)	Tafeln der Sorte II. Einstellung auf Formerkennbarkeit (Rotabschwächung in Grad)	Tafeln der Sorte III. Einstellung auf Weifslichkeit (Rotabschwächung in Grad)	Tafeln der Sorte III. Einstellung auf Formerkennbarkeit (Rotabschwächung in Grad)
Jam.	2,50	7½	16	5	16	3	12½
Met.	findet keinen Formerkennbarkeitsunt. und keinen Weifslichkeitsunterschied						
Frl. Lüt.	3,—	6½	14	6	9	3½	9
Hoch	1,50	kein Formerkennbarkeitsunt. und kein Weifslichkeitsunterschied					
Ste.	1,—	9½	11½	3½	15	—	—
Frl. Ru.	2,—	5	20	2	17½	—	—
Web.	1,75	4	12½	—	6	—	—
Frl. Gie.	1,75	8	15	4	12½	—	—
Frl. Ap.	1,75	12½	17½	11	11	—	—
Gab.	2,—	6	15	2	14	—	—
Feu.	2,40	7½	15	2½	7½	—	—
Frl. Ket.	2,—	11	15	8½	12½	—	—

keit in verschiedenem Licht minimal sein oder ganz hinwegfallen. Mit diesem Unterschied der Formerkennbarkeit fällt aber gerade dasjenige hinweg, was nach unserer Arbeitshypothese die Bedingung für die „Einstellung" der verschiedenen optischen Reaktionsschichten und damit für das Auftreten des beobachteten Weifslichkeitsunterschiedes ist.

Bei der Mehrheit der Vpn., ist das Phänomen auch bei dieser Abwandlung der Versuchsbedingungen deutlich, so dafs also eine Erklärung, die

sich auf Durchwanderung des Objektes mit dem Blicke stützt, das Phänomen nicht zu erklären vermag, eine Deutung, die übrigens auch schon auf Grund der Selbstbeobachtungen als unwahrscheinlich bezeichnet werden muſs.

Wie früher, so wurden auch jetzt noch zwei Kontrollversuche angestellt, indem nicht die optische Weiſslichkeitsgleichung, sondern die Weiſslichkeitsungleichung: „Blau soeben sicher heller (weiſslicher) als Rot" zugrunde gelegt wurde. Es ergab sich:

Vp. Nol. Entfernung 2,50 m.

Tafeln I: Zunächst erscheint Rot weiſslicher als Blau. Erst bei Rot-Abdunklung um 5° wird Blau soeben wieder sicher weiſslicher.

Ebenso ist zunächst im Rot bessere Formerkennbarkeit vorhanden. Erst bei Abdunklung um 20° wird die Formerkennbarkeit im Blau besser.

Bei Darbietung der Tafeln II zeigten sich entsprechende Resultate. Die notwendige Abdunklung betrug beim Weiſslichkeitsvergleich $7^1/_2{}^0$, beim Formerkennbarkeitsvergleich $11^1/_2{}^0$.

Bei Darbietung der Tafeln III wurde nichts mehr erkannt. Daher zeigten sich auch keine Weiſslichkeitsänderungen gegenüber der vorhergehenden Einstellung auf dem Karton.

Vp.: Dr. Fr. Entfernung: 1,50 m. Es ergaben sich entsprechende Verhältnisse. — Tafeln I: Notwendige Rot-Abdunkelung beim Weiſslichkeitsvergleich $11^1/_4{}^0$, beim Formerkennbarkeitsvergleich 18°.

Bei Darbietung der Tafeln II und III zeigten sich keine Weiſslichkeitsänderungen gegenüber der anfänglichen Einstellung auf dem weiſsen Karton. Es waren hier aber auch keine Konturen der Stäbchen zu erkennen. —

Man sieht also, daſs das Ergebnis auch bei Zugrundelegung einer Weiſslichkeitsungleichung gewahrt bleibt.

Schlieſslich könnte man vielleicht noch darauf hinweisen, daſs durch die gröſsere Sehschärfe im roten Licht sich hier vielleicht auch die Schlagschatten der Stäbchen von ihrer weiſsen Oberfläche besser abhöben und daſs daher beim roten Objekt die Kontraste stärker zur Auswirkung kommen könnten. Man könnte daran denken, daſs durch einen ge-

steigerten Kontrast die weifsen Oberflächen der Stäbchen in gesteigerter Helligkeit erscheinen würden.

Indessen kann der Kontrast zur Erklärung des Phänomens unmöglich ausreichen, da die Erscheinung von einer Reihe von Vpn. und von uns selbst auch dann wahrgenommen wurde, wenn ein Schlagschatten gänzlich fehlte. Es war dazu die Beleuchtung so gewählt, dafs die Lichtquellen in gleicher Höhe mit den horizontal stehenden Tafeln angebracht wurden. Alsdann kamen die Schlagschatten zwischen den Stäbchen in Fortfall. Das sind aber die einzigen Schatten, die innerhalb der Beobachtungsobjekte liegen und deren Wirkung in Betracht kommen könnte. Es hoben sich dann sogar die Vorderflächen (d. h. die dem Auge zugekehrten Seiten der Stäbchen) als etwas dunkler vom Hintergrund ab, da, wie oben erwähnt, der weifse Überzug der Stäbchen eine Spur dunkler als der Untergrund war. Ein Kontrast innerhalb des Beobachtungsobjektes hätte hier also nur der Erscheinung entgegenwirken können; denn wenn wir für das rote Feld infolge des hier deutlicheren Formerkennens einen deutlicheren Kontrast annahmen, so hätte dieser gerade dahin wirken müssen, die Stäbchenvorderflächen zu verdunkeln. Trotzdem wurden bei Darbietung der Tafeln I die rot beleuchteten Vorderflächen von einer Reihe von Vpn. deutlich weifslicher gesehen als die blau beleuchteten Vorderflächen. Der Weifslichkeitsunterschied hatte bei den untersuchten Vpn., in Grad angegeben, folgende Werte.

Tabelle 18

(In Grad)

Prof. J.	6	Rit.	$12^1/_2$	Frl. Ap.	0
Dr. Fr.	0—4	Nol.	$8^1/_2$	Sta.	4
Ste.	10	Web.	$12^1/_2$	Jam.	0

Die Erscheinung kann, wie sie auch näher zu erklären ist, jedenfalls nur mit der besseren Formerkennbarkeit im roten Lichte zusammenhängen. Dieser Unterschied der Erkennbarkeit ist hier, wo das Licht genau von der Seite kommt und die Stäbchen sich nicht mehr so deutlich vom Grund abheben, naturgemäfs geringer und nicht mehr in allen Fällen ausreichend, um einen Weifslichkeitsunterschied hervortreten zu

lassen. Individuelle Unterschiede sind auch hier bei der Natur der Erscheinung anzunehmen, namentlich wegen der individuell verschiedenen Sehschärfe.

Noch einen letzten Einwand müssen wir beseitigen, den man gegen unsere Erklärung des Phänomens erheben könnte. Es wäre ja denkbar, dafs man bei Einstellung der Weifslichkeitsgleichung auf den homogenen weifsen Kartons mehr auf die Ferne akkommodierte als bei Betrachtung der Tafeln mit den Stäbchen. Wenn die Pupille nun bei Akkommodation auf die Ferne kleiner würde, so träte in dem Falle — also bei Einstellung der Weifslichkeitsgleichung — eine geringere Lichtmenge ins Auge, womit die Verhältnisse des Purkinjeschen Phänomens begünstigt würden. Dieser Umstand wird aber, so könnte man weiter schliefsen, bei Betrachtung der Tafeln I usw. sicherlich nicht in Betracht kommen, weil das Auge in Gestalt der Stäbchen Objekte vor sich hat, die den Einstellreflex der Nahakkommodation wachrufen. Es wäre jetzt also mit einem Abrücken der Weifslichkeitsverhältnisse von denen des Purkinjeschen Phänomens zu rechnen. Das bedeutet aber Weifslichkeitszuwachs im Rot, womit man für unser Phänomen theoretisch und im Prinzip eine Erklärung gefunden hätte.

Es liefs sich indessen durch Anbringung eines kleinen Fixationspunktes auf den Kartons leicht zeigen, dafs diese Erklärung des Phänomens nicht stichhaltig ist. Die Vp. wurde angehalten, diesen Punkt ungezwungen (ohne starre Fixation) zu betrachten. Dadurch wurde eine unwillkürliche Akkommodation auf die Ferne verhindert. Wir wiederholten nun den vor Tabelle 16 beschriebenen Versuch bei einigen Vpn., vermieden aber das Auftreten von Schlagschatten. Wie kaum anders zu erwarten war, erfuhren die Ergebnisse keine qualitative Änderung. Die Vpn. sagten auch teilweise selbst aus, dafs sie auch schon früher, vor der Anbringung des Punktes, nie bei Darbietung der Kartons glaubten unscharf akkommodiert zu haben, zumal der Karton immerhin so klein war, dafs man die Begrenzung leicht mitbetrachten konnte, wodurch eine unscharfe Akkommodation weitgehend ausgeschlossen wurde. Es ergaben sich die Resultate der folgenden Tabelle.

Tabelle 19

Weifslichkeitszuwachs im Rot
bei Darbietung der Tafel I bei

Vp. Rit.	5°
„ Ste.	8°
„ War.	6°
„ Fou.	14°
„ Möck.	12°
„ Sta.	5°

Beiläufig seien noch einige Beobachtungen angestellt, die für sich genommen nicht beweisend sein würden, aber mit den vorhergehenden Versuchen in gutem Einklang stehen und den nach ihnen zu hegenden Erwartungen entsprechen.

Es handelt sich darum, die Verhältnisse beim räumlichen Sehen mit in den Rahmen unserer Betrachtungen zu ziehen und zu untersuchen, ob wir etwa auch bei gröfserer Tiefenauswertung, die sich zugleich mit der gröfseren Sehschärfe im roten Licht findet, wieder einen relativen Weifslichkeitszuwachs feststellen können oder nicht. — Um eine gute Tiefenwirkung möglich zu machen, verwandten wir bei diesem Versuch das Stereoskop unter Zuhilfenahme der Zeifsschen Tiefensehschärfeprüfungstafel. Auf dieser Tafel befinden sich 10 Objekte, die verschiedene Querdisparation besitzen, sich also in verschiedener Tiefe zu befinden scheinen. Aufserdem sind an jedem Objekt noch 4 Zeichen angebracht, die von ihm wieder in verschiedenen Tiefenabstand stehen, uns aber hier nicht interessieren. Diese aus Glas bestehende Prüfungstafel für Tiefensehschärfe wurde von hinten entweder rot oder blau durchleuchtet. Das Licht fiel zunächst auf eine Mattscheibe, die für die davor befindliche Prüfungstafel einen farbigen Grund von gleichmäfsiger homogener Weifslichkeit lieferte. Die Vp. safs im Schnittpunkt der Strahlengänge. Damit sie nur Licht durch die beiden Okulare des Stereoskops bekam, war alles andere Licht aus den Strahlengängen durch Pappschirme abgeblendet worden. Das Stereoskop stand bei den Versuchen auf einem kleinen Tisch und war um einen Punkt der Mittelachse leicht drehbar gemacht. Es wurde für jede Beleuchtung so gestellt, dafs die Vp. genau entgegen der Richtung des Strahlenganges blickte. Da diese Drehung

momentan erfolgen konnte, dürfte dadurch kein nennenswerter Fehler in unsere Versuchsreihen gekommen sein.

Der Versuch verlief nun folgendermafsen: Das Stereoskop (der Abstand der Okulare vom Bild und voneinander) wurde zunächst genau für den Pupillenabstand der jeweiligen Vp. eingestellt, während im verdunkelten Zimmer die 25-Kerzenlampe brannte. Dann wurde diese ausgeschaltet und die Prüfungstafel aus dem Strahlengang entfernt. Bei abwechselnder roter bzw. blauer Beleuchtung wurde unter den geschilderten Versuchs- und Beleuchtungsbedingungen auf der Mattscheibe die optische Weifslichkeitsgleichung festgelegt. Darauf wurde die Prüfungstafel wieder eingeführt und die Vp. befragt, ob die Weifslichkeitsgleichung noch erfüllt sei. Die „optische Weifslichkeitsgleichung" wurde dann unter diesen neuen Verhältnissen wieder hergestellt.

Bemerkt sei noch, dafs durch die Einführung der Prüfungstafel in den Strahlengang keine in Betracht kommende Verminderung des das Auge treffenden Lichtes erfolgte. Die Tafel, auf der die Prüfungsobjekte angebracht sind, ist zwar eine Mattglasscheibe, deren Einführung die Helligkeit des Feldes schwächt. Die Schwächung wurde aber dadurch ausgeglichen, dafs bei der Weifslichkeitsbestimmung eine matte Schicht Pergamentpapier eingeführt wurde, die annähernd gleich stark schwächt. Übrigens hätte die Ungleichheit der Bedingungen nur dem Tatsachenkreis unserer Erscheinung entgegenwirken können, weil durch Herabsetzung der Beleuchtung nur das Purkinjesche Phänomen gesteigert und daher nur das Blau stärker aufgehellt werden konnte, während wir stets einen Weifslichkeitszuwachs im Rot beobachteten.

Herangezogen wurden Vpn., deren Tiefensehschärfe aus Tabelle 15 schon bekannt war, sowie auch einige Vpn., die die früheren Versuche überhaupt noch nicht mitgemacht hatten. Wir glauben so vor dem Einwand geschützt zu sein, als hätten sich die Vpn. der früheren Versuche erinnert und und seien etwa durch die damaligen Untersuchungen zu einem Analogieurteil veran afst werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen (s. Tab. 20).

Die Zahlen in Spalte 3 und 6 geben an, um wieviel Grad die Scheiben des Episkotisters nach Einführung der Prüfungs-

tafel in das Stereoskop gegeneinander verschoben werden mufsten, bis wieder in Rot und Blau „unentschiedene Weifslichkeit“ herrschte. Auch bei diesem Versuch war im Rot die Sehschärfe und Tiefenwirkung besser als im Blau. Die Farben schienen den Vpn. bei Einführung der Prüfungsobjekte an Raumhaftigkeit wesentlich zu gewinnen.

Tabelle 20

Vp.	Pupillenabstand in mm	Weifslichkeitszuwachs in Rot in Grad	Vp.	Pupillenabstand in mm	Weifslichkeitszuwachs in Rot in Grad
Web.	82	12½	Böh.	72	10
Ket.	70	5	Bor.	76	15
Met.	81	12½	Köh.	80	6
Frl. Ap.	85	4	Hah.	75	10
Feu.	83	14	Luc.	60	8½
Mey.	58	17	Rit.	75	12½

Ob für das Phänomen das Auftreten der Tiefenwahrnehmung — erhöhte Tiefenauswertung im roten Licht — überhaupt wesentlich ist oder ob es wieder nur auf der Einführung detailreicher Objekte beruht, ist hiernach noch nicht entschieden. Der Kontrasteinflufs könnte ebenfalls noch mitwirken, auch Änderungen der Pupillenweite, die bei den das Tiefensehen begleitenden Blick- und Aufmerksamkeitswanderungen auftreten. —

Als wesentliches Ergebnis der Versuche betreffs des Weifslichkeitszuwachses infolge stärkerer Mitwirkung des Formensehens bei Einführung komplexerer Objekte können wir nach den mitgeteilten Versuchen den Satz aufstellen:

Die Weifslichkeit einer Farbe ist auch in dem Erscheinungskreis des Purkinjeschen Phänomens nicht eindeutig bestimmt durch den physikalischen Reiz oder schon bekannte physiologische Vorgänge, wie Kontrast, Adaptation und Pupillenspiel, sondern es treten ähnlich wie in dem Erscheinungskreis der „Farbentransformation“ noch Faktoren hinzu, die vorläufig unter der Bezeichnung **„zentrale Faktoren“** zusammengefafst werden können.

Eine Erscheinung, die unserem Phänomen recht verwandt ist, wurde in einer im hiesigen Institut durchgeführten Arbeit von Thea Kramer[1] untersucht. Bei Versuchen über die Beziehung des Zwischenmediums zu den Transformationserscheinungen ergab sich hier, dafs ein beschatteter oder farbig beleuchteter Grund heller erscheint, sobald vor ihm irgendwelche Gegenstände — im angeführten Falle eine gleichfarbige Scheibe — sich befinden, eine Erscheinung, die hier entsprechend der Erklärung der Farbtransformationserscheinungen auch auf das Eingreifen zentraler Faktoren zurückgeführt wird.

Den Weifslichkeitszuwachs in Rot würden wir somit als ein Abrücken der Weifslichkeitsverteilung von derjenigen des Purkinjeschen Phänomens aufzufassen haben. Dieses Abrücken ist verständlich, da wir im Formensehen einen entwicklungsgeschichtlich jungen Erwerb zu erblicken haben. Es sind hier die entwicklungsgeschichtlich jüngeren Funktionsschichten eingeschaltet. Aus unseren Versuchen geht also hervor, dafs durch Einstellung des Auges auf Formensehen überhaupt in höherem Mafse die jüngeren Funktionsschichten ein- und die älteren Funktionsschichten ausgeschaltet werden; denn auch das Purkinjesche Phänomen gehört ja den älteren Funktionsschichten des Sehens an.

6. Kapitel

Versuche über Weifslichkeitsänderungen beim Übergang vom direkten zum seitlichen und vom länger- zum kürzerdauernden Betrachten von Farben

Wir wollen uns zunächst mit den Versuchen über Weifslichkeitsvergleich bei direkter und seitlicher, sowie bei längerund kürzerdauernder Betrachtung befassen. Die Versuchsanordnung war wieder ähnlich wie früher. Die Projektionslampen beleuchteten einen grofsen Schirm, der senkrecht an einer Tischkante befestigt war, eine Höhe von 60 cm hatte und in der Mitte 4 Löcher von je 4×4 cm im Abstand von

[1] Th. Kramer, Beziehungen des Zwischenmediums zu den Transformations- und Kontrasterscheinungen. *Zschr. f. Sinnesphysiol.* 54, 1922.

je 2 cm trug (s. Fig. 5). Diese Löcher waren mit dünnem weifsem Pergamentpapier überklebt und wurden von den symmetrisch angeordneten Lampen so durchleuchtet, dafs für die hinter dem Schirm sitzende Vp. die beiden rechten in rotem und die beiden linken in blauem Lichte erstrahlten. Natürlich war dafür gesorgt, dafs die beiden roten bzw. blauen Quadrate gleichmäfsig beleuchtet wurden. Vor diesen vier Quadraten befand sich ein zweiter Schirm (Fig. 6), der durch einen Faden herauf- und herabgezogen werden konnte. Dadurch wurden entweder die beiden äufseren oder die beiden inneren Felder verdeckt. Die Vp. safs von den leuchtenden Quadraten 70 cm entfernt und fixierte den zwischen beiden in der Mitte gelegenen kleinen Fixationspunkt, wobei sie durch den grofsen Schirm vor jeglichen irregulären Lichtstrahlen

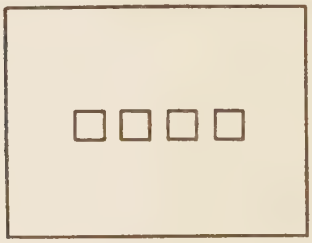

Fig. 5

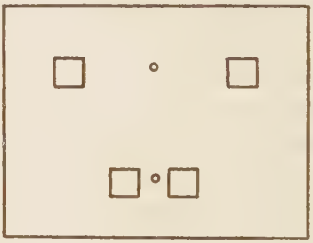

Fig. 6

gut geschützt war. Um eine Bewegung des Kopfes zu vermeiden, legte die Vp. den Kopf an eine Stirnstütze. Es wurde nun bei Fixation des mittleren Punktes auf Weifslichkeitsgleichheit der inneren Felder eingestellt, dann der Karton (Fig. 6) heruntergelassen, so dafs die beiden äufseren Felder allein sichtbar waren und nun die Weifslichkeitsgleichung mittels Verschiebung der Scheiben des Episkotisters wiederhergestellt.

Bei momentanem Sehen wurde vor die mittleren Felder der Verschlufs eines Stereo-Photoapparates gesetzt. Die Weifslichkeitsgleichungen wurden bei dauernder Öffnung des Verschlusses eingestellt. Darauf wurde bei $^1/_{25}$ Sek. Öffnungszeit die Weifslichkeitseinstellung verglichen und die Lichter erneut auf Gleichheit gebracht. Es ergab sich die folgende Tabelle, die allerdings hinsichtlich des indirekten Sehens nur längst bekannte Tatsachen bestätigt.

Tabelle 21

Vp.	Seitliches Sehen Weifslichkeitszuwachs in Blau in Grad	Momentanes Sehen
Frl. Bec.	15	18
Jam.	20	11
Frl. Ap.	10	? zu kurz!
Wer.	10	$18^1/_2$
Rit.	(rot-grün-blind)	$18^1/_2$
Gab.	15	$21^1/_2$
Mül.	13	17
War.	15	21
Ste.	$18^1/_2$	19
Sta.	15	17
Met.	15	? zu kurz!
Frl. Bra.	$21^1/_2$	20

Wir sehen also, wenn wir die ganz wenigen Ausnahmen unberücksichtigt lassen, dafs wir bei den allermeisten Vpn. im zunehmend indirekten und ebenso im momentanen Sehen eine Aufhellung des Blau gegenüber dem Rot feststellen können. Aufserdem sagten verschiedene Vpn. (Frl. Ap., Wer., Gab., Mül., War., Ste., Sta., Met. Frl. Bra.) aus, dafs ihnen im seitlichen Sehen das Blau ungesättigter als das Rot erscheine. Mehrere Vpn. (Frl. Ap., Wer., Gab., War., Ste., Sta.) glaubten dieselbe Erscheinung auch im momentanen Sehen festellen zu können. — Wenn wir unseren Eindruck angeben sollen, so ist es der: Blau erscheint ungesättigter, und zwar wie mit hellem Grau vermischt, so dafs bei den meisten Vpn. eine relative Aufhellung (Weifslichkeitszuwachs) des Blau auftritt. Rot ändert sich viel weniger; sein Farbcharakter tritt im Vergleich zum Blau ganz wesentlich mehr hervor.

Man kann also sagen, dafs sowohl im momentanen wie im seitlichen Sehen „eine starke Tendenz in der Richtung auf das Purkinjesche Phänomen" vorhanden ist, was Broer auch schon aus verschiedenen Literaturangaben belegt und z. T. indirekt erschliefst. So berichtet Kunkel[1], dafs bei momentaner Betrachtung von Farben

[1] Kunkel, Abhängigkeit der Farbenempfindung vor der Zeit. *Pflüg. Archiv* 9.

Farbtonverschiebungen auftreten. Ganz dieselben Farbtonverschiebungen konnte Broer aber beim Purkinjeschen Phänomen nachweisen. — Katz[1] (S. 299, 411) schreibt davon, dafs die Erscheinungsweise der Farben auf der Peripherie mehr den Flächenfarben nahe stehe, was von Broer als Zeichen für eine mehr primordiale Erscheinungsweise aufgefafst wird.

Durch diese Empfindlichkeitssteigerung für kurzwelliges Licht im seitlichen und instantanen Sehen dürfte bewiesen sein, dafs die jüngeren und höheren Sehfunktionen hier, ähnlich wie in der Dämmerung, nicht im selben Mafse in Aktion treten wie bei direkter oder länger dauernder Betrachtung oder im Tagessehen.[2] Ganz offenkundig stellt das Formensehen eine solche jüngere und höhere Funktionsschicht dar. Danach ist es auch ganz verständlich, dafs in allen diesen Fällen, d. h. bei Einschaltung der primordialen Funktionsschichten, das Purkinjesche Phänomen in erhöhter Stärke festgestellt werden konnte. Wenn Formen, die zu erkennen wären, nicht vorhanden sind, hat das Sehorgan keinen Anlafs diese jüngeren und höheren Funktionsschichten einzuschalten. Es sind ihm dann geringere, niedrigere Aufgaben gestellt, die es auch schon mit den primitiveren, niedrigeren Funktionsschichten zu bewältigen vermag. Es begnügt sich also — nach der von Jaensch aufgestellten Arbeitshypothese — mit der Einschaltung dieser primordialen Reaktionsschichten, ein Verhalten, das auch mit dem Ökonomieprinzip in Einklang stehen dürfte, da die ältesten Reaktionen immer zugleich auch die am besten ge-

[1] Katz, Die Erscheinungsweisen der Farben. Leipzig 1911.

[2] Im Prinzip könnte man denken, dafs bei Dauerbetrachtung des Farbfeldes die Dunkeladaptation abgeschwächt werde und dafs darum das Purkinjesche Phänomen zurücktrete. Aber der Unterschied zwischen momentaner und Dauerbetrachtung besteht auch dann, wenn letztere nur kurz ist, so kurz, dafs der Zustand der Daueradaptation kaum geändert werden kann. Beruhte die Erscheinung auf dem angegebenen Umstand, so müfste sich eine Änderung bemerkbar machen, wenn man die kurze aber nicht momentane Betrachtung um einige Sekunden verlängert. Das gelangte aber nie zur Beobachtung. Es ist also äufserst wahrscheinlich, dafs die Erscheinung nicht auf der Änderung des Adaptionszustandes, sondern auf den besonderen Bedingungen der instantanen Betrachtung beruht.

bahnten und eingeschliffenen, daher auch „leichtesten“ zu sein pflegen. Die Funktion des Sehorgans fällt also auf die primordiale geläufige und „leichte“ Reaktionsschicht zurück, wenn die Einschaltung der jüngeren ungeläufigeren und „schwereren“ Reaktionsart die Leistung doch nicht nennenswert verbessern würde. Zu dieser Schicht der jüngeren und „schwereren“ Reaktionsart gehört insbesondere auch das Formensehen. Es lohnt sich nicht, dieses entwicklungsgeschichtlich jüngere, weniger leicht und mühelos arbeitende Reaktionssystem einzuschalten, wenn überhaupt keine Formen vorgelegt sind.[1] Durch Einschaltung der Reaktionsschichten, die auch das Formensehen enthält, würde die Leistung hier nicht in wesentlicher Weise verbessert werden. In derselben Weise und aus demselben Grunde macht sich das Sehorgan seine Aufgabe leicht im seitlichen und instantanen Sehen. Auch wenn hier die jüngere und mit gröfserem Müheaufwand arbeitende Reaktionsschicht, die das Formensehen enthält, eingeschaltet würde, würde das in diesem Falle gar nicht weiterhelfen und die Leistung nicht weiter verbessern; denn das deutliche Erkennen der Form würde im seitlichen Sehen an der ungenügenden Funktionstüchtigkeit der an der Netzhautperipherie stehenden lichtperzipierenden Elemente scheitern und bei instantaner Darbietung an der zu kurzen Einwirkungszeit der Lichtreize. Darum erspart sich das Sehorgan in allen diesen Fällen den unnötigen,

[1] Diese Tatsachen ordnen sich demselben Prinzip unter wie diejenigen, die E. Jaensch früher im Bereich der Akkommodation hervorgehoben und als „Trägheit der Akkommodation“ bezeichnet hat (Zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. Experimentell-psychologische Untersuchungen nebst Anwendung auf die Pathologie des Sehens. Leipzig 1909, S. 47 ff., S. 67). J. wies hier darauf hin, dafs der Akkommodationszustand durch die Entfernung des Objekts nicht eindeutig festgelegt ist. Ist das Objekt ein sehr einfaches, so dafs durch den Akkommodationsaufwand kein in Betracht kommendes Deutlicherwerden des Beobachtungsobjekts erreicht wird, so unterläfst die Akkommodation die scharfe Einstellung. Infolge der „Trägheit der Akkommodation“ tritt das „schwerere“ akkommodierende Sehen nur dann an die Stelle des „leichteren“ akkommodationslosen Sehens, wenn es sich lohnt, d. h. wenn durch den Akkommodationsaufwand eine ganz wesentliche und in Betracht kommende Verdeutlichung des Sehobjektes erzielt wird.

gar nicht weiterführenden Müheaufwand, fällt in primitive Reaktionsschichten zurück und stellt sich auf diese „leichtere" Art der Reizbeantwortung ein. Begreiflicherweise geschieht das vor allem auch im Zustande der Ermüdung, wie dies auch im ersten Teile dieser Arbeit als tatsächliches Verhalten erwiesen worden ist. So stimmen also die Bedingungen der Ermüdung, des Fehlens der Form, des indirekten und des instantanen Sehens darin überein, dafs sie dieselbe Einstellung, den gleichen Rückfall auf primordiale Reaktionsschichten wachrufen.

Beiläufig sei in diesem Zusammenhange noch ein Befund O. Krohs[1] erwähnt, der feststellte, dafs weifsliches Licht in der Dämmerung einen bläulichen Ton anzunehmen pflegt, eine Erscheinung, die mit der hier festgestellten Bevorzugung des Blau bei Einschaltung älterer Funktionsschichten des Auges im besten Einklang steht.

7. Kapitel

Versuche über scheinbare Geschwindigkeit von Bewegungen unter verschiedenen Bedingungen, insbesondere des Farbensehens

Wir gehen nun zu den Versuchen über, die betreffs der Wahrnehmung einer Bewegung angestellt wurden. Wir sahen schon, dafs wir bei Einstellung des Auges auf primordiale Reaktionen nach der vorliegenden Literatur eine besonders gut entwickelte Bewegungswahrnehmung erwarten müfsten; denn das Bewegungssehen gehört einer primordialen Schicht an, und es ist wahrscheinlich, dafs bei Einschaltung einer solchen gerade auch das Bewegungssehen begünstigt werden wird. Die Ausgeprägtheit der Bewegungswahrnehmung kann sich nun auf verschiedene Weise äufsern. Unsere Untersuchungen erstrecken sich vor allem auf die Wahrnehmung der scheinbaren Geschwindigkeit der Bewegung. Über die scheinbare Exkursion, deren Steigerung an der Peripherie

[1] O. Kroh, Weifsempfindung des Stäbchenauges. *Zeitschr. f. Sinnesphysiol.* **53**. 1922.

S. Exner nachwies[1], haben wir nur beiläufig Untersuchungen angestellt und werden sie zum Schluſs mit einigen Worten berühren. Die Untersuchungen über scheinbare Geschwindigkeit wurden, wie oben betont, bei Tages- und Dämmerungssehen, direktem und seitlichem Sehen, sowie bei gleich weifslicher roter und blauer Beleuchtung im verdunkelten Zimmer ausgeführt. Die Ergebnisse waren in den drei erstgenannten wie in den drei zuzweit genannten Fällen unter sich übereinstimmend.

Vor dem Bericht über die angestellten Versuche sei kurz noch einer Mitteilung v. Fleischls[2] über das Bewegungssehen Erwähnung getan. v. Fleischl sagt darin: „Es muſs der Netzhautperipherie ein auffallend groſses, zu ihrer geringen Sehschärfe in keinem Verhältnis stehendes Vermögen eigen sein, Bewegungen wahrzunehmen.“ Wahrscheinlich denkt v. Fleischl dabei jedoch mehr an die Exkursion als an die Geschwindigkeit, wie denn überhaupt in der Literatur, wenn es sich um gute Wahrnehmung von Bewegungen handelt, fast stets von der scheinbaren Exkursion gesprochen wird. Die hierauf bezügliche Literatur wird an späterer Stelle angeführt werden.

Bei der Messung der scheinbaren Bewegungsgeschwindigkeit wurde folgendermaſsen vorgegangen: Eine Kymographiontrommel wurde mit Papier überzogen, auf dem sich so viel Striche wie möglich befanden, aber mit der Einschränkung, daſs man sie bei roter Beleuchtung ohne Mühe erkennen und unterscheiden konnte, während ihre Unterscheidung bei blauer Beleuchtung nicht mehr möglich sein sollte. Es wurden dadurch Umstände geschaffen, die einer starken Einschaltung primordialer Schichten bei roter Beleuchtung zuwiderliefen. Den angegebenen Forderungen entsprach das in Figur 7 abgebildete Dachziegelmuster. — Die scheinbare Geschwindigkeit einer Bewegung kann man nun nach zwei Methoden messen: durch Beobachtung mit stillstehendem Auge oder mit bewegtem Auge. Bei Messungen

---

[1] S. Exner, Die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. *Arch. f. d. ges. Physiol.* **38**, 1/2, 1886.

[2] v. Fleischl, Physiol.-optische Notizen III. *Wiener Akad., Math.-naturw. Abt.* **87**, 1883.

nach letzterer Methode ergibt sich nach v. Fleischl (a. a. O.) und Basler[1] eine beiläufig scheinbar halb so grofse Geschwindigkeit wie bei der ersteren. Zudem erfordert die Messung mit bewegtem Auge, dafs man eine relativ grofse Fläche der Walze überblicken kann, was jedoch wegen der Krümmung der Walze auf Schwierigkeiten stöfst. Wir wählten daher zu allen Beobachtungen die erstere Methode. Vor der Walze stand eine grofse schwarze Pappe mit einem 10×38 mm grofsen Ausschnitt, in dessen Mitte sich, auf einem dünnen Seidenfaden angebracht, eine kleine Messingkugel von 3 mm Durchmesser befand. Der Ausschnitt befand sich ganz dicht vor der Walze, so dafs er mit dem sichtbaren Teile der Trommel nahezu in einer Ebene lag. Die Walze war durch ein Kouponbändchen

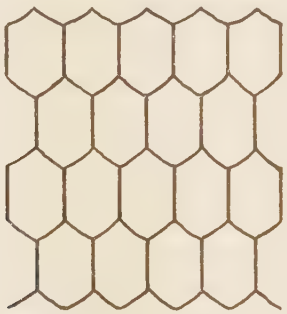

Fig. 7

mit einem Motor verbunden. Dieser trug verschiedene Riemenscheiben, so dafs die Geschwindigkeit der Trommel schon dadurch weitgehend geändert werden konnte. Zwecks Regulierung der Motorgeschwindigkeit wurde die Schaltung benutzt, die Figur 8 zeigt. Es konnte damit jede beliebige Spannung an den Motor gelegt werden von 0—40 Volt, wobei Feld- und Ankerwickelung parallel geschlossen waren. Ein Regulierwiderstand von 180 Ohm ermöglichte es, jede Stellung, die der Schieber einmal innegehabt hatte, später wiederzufinden, womit dann auch die Trommel wieder dieselbe Geschwindigkeit annahm. Die Vp. safs in Leseentfernung vor dem Ausschnitt. Die Lampen standen schräg rechts und links hinter der Vp.

[1] Basler, Netzhautfunktionen. Abderhaldens Handb. biol. Arbeitsmethoden. Abt. V, Teil 6, Heft 3.

und beleuchteten abwechselnd den Spalt. In dem roten Strahlengang befand sich der Episkotister. Er wurde wieder durch einen Motor angetrieben. Zur zeitweiligen Ausschaltung der

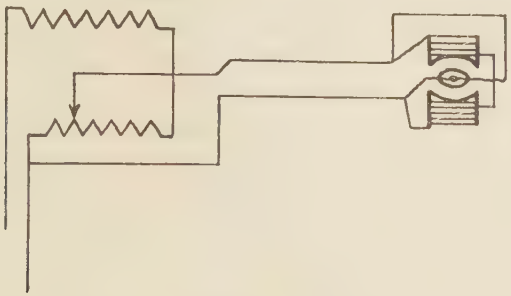

Fig. 8

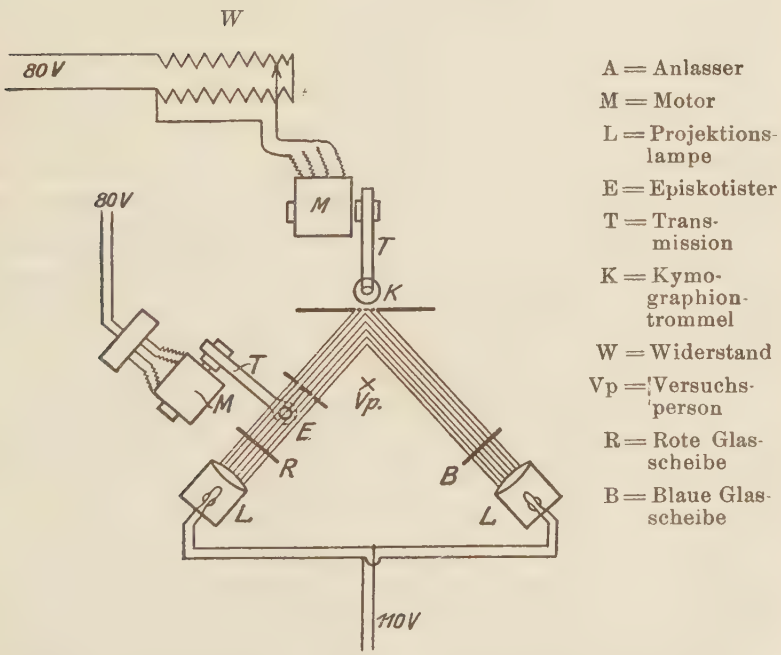

Fig. 9

einzelnen Lichtquellen dienten noch zwei Schalter, die handlich angebracht waren. Die gesamte Anordnung zeigt Figur 9.

Es wurde nun hinter dem Ausschnitt zunächst ein Papier derselben Weifslichkeit angebracht, wie es unser Schuppenmuster (Fig. 7) besafs. Dieses wurde abwechselnd rot oder

blau beleuchtet, und die Lichter wurden auf optische Weifslichkeitsgleichheit gebracht. Wir durften hierzu nicht das Schuppenmuster selbst verwenden, da sonst leicht die Erkennbarkeit der Striche des Musters die Einstellung beeinflufst hätte. War auf scheinbar gleiche Weifslichkeit eingestellt, so wurde das Papier hinter dem Spalt wieder fortgenommen und die Trommel in Bewegung gesetzt. Die Vp. achtete auf die scheinbare Geschwindigkeit des sich hinter dem Spalt vorbeibewegenden Musters. Abwechselnd wurde erst rotes, dann blaues Licht eingeschaltet. Nach Wiedereinschalten der roten Beleuchtung stellten wir im Rot auf eine scheinbar gleich grofse Geschwindigkeit ein, wie sie im Blau die Trommel gehabt zu haben schien. Da wir die verschiedenen Widerstandseinstellungen immer wiederherstellen konnten, so war ein mehrmaliges Vergleichen der Geschwindigkeit im Rot mit der Bezugsgeschwindigkeit im Blau möglich, wodurch die Daten hinreichend genau gemacht werden konnten. Die verschiedenen objektiven Geschwindigkeiten der Trommel wurden nachträglich mit der Stoppuhr gemessen; das geschah durch Feststellung der Zeit, in der dir Trommel zwei ganze Umdrehungen ausführte.

Zum Vergleich sollte nun auch die scheinbare Bewegungsgeschwindigkeit im Hellen und in der Dämmerung gemessen werden. Wir verglichen dabei die scheinbare Geschwindigkeit der Trommel bei Beleuchtung mit einer 25-Kerzenlampe mit der Geschwindigkeit, die sie bei starker Dämpfung der Beleuchtung zu haben schien. Die Dämpfung geschah durch Vorsetzung einer absorbierenden Platte. Wir stellten dabei bei heller Beleuchtung auf die Geschwindigkeit ein, die die Trommel bei gedämpfter Beleuchtung zu haben schien.

War diese ganze Untersuchung ohne Anderung der Einstellung des Episkotisters erfolgt, so führten wir die Versuche nun so aus, dafs die objektive Geschwindigkeit der Trommel konstant gelassen, dafür aber in Rot mit dem am Musilapparat angebrachten Episkotister diejenige Helligkeit hergestellt wurde, für die die Trommel dieselbe scheinbare Geschwindigkeit hatte, die sie im Blau zu besitzen schien. Es ergaben sich dabei folgende Werte:

Tabelle 22

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit der Trommel in $\frac{\text{Grad}}{\text{Sek.}}$			Rotverdunklung in Grad
	Rot	Blau	Lampe von 25*	
Frl. Ap.	16,89	11,76	22,36	8½
Ste.	16,10	13,33	24,82	12½
Köh.	20,71	14,92	28,54	10
v. Ov.	18,78	13,36	24,56	8
Frl. Bec.	20,77	16,46	21,60	7½
Wer.	15,78	15,00	27,69	12½
Frl. Bra.	23,21	17,14	42,20	7½
Gab.	17,60	16,48	24,21	6½
Jam.	19,40	15,31	28,10	15
Jsr.	18,83	16,62	36,60	6½
Pet.	17,14	16,81	26,96	12½
Gru.	16,40	13,82	20,33	16

Aus der Tabelle folgt, dafs bei Einstellung auf unentschiedene Weifslichkeit der Farben bei objektiv gleicher Geschwindigkeit die scheinbare Geschwindigkeit im Blau wesentlich gröfser ist als im Rot, und im Rot wieder gröfser als bei Beleuchtung mit einer 25-Kerzenlampe. Die Angaben der Tabelle dürften einen Fehler von nicht mehr als $\pm$ 0,1° besitzen.

Die Erscheinung, dafs die Zeichnung in Blau geradezu „vorbeirast", hat die schlechte Erkennbarkeit zur Voraussetzung; denn sie fehlte, sobald im Blau die Erkennbarkeit gleich der im Rot wurde und schlug bei weiter abnehmender Erkennbarkeit im Rot ins Gegenteil um. Streng wurde übrigens darauf geachtet, ob die Bewegung auch stets wirklich gesehen wurde oder ob es sich um eine nur erschlossene Bewegung handelte. Alle Vpn. geben an, dafs die scheinbare Geschwindigkeit wirklich gesehen werde, was auch unserem eigenen Eindruck entspricht. — Die Ergebnisse, die bei Konstanthaltung der Geschwindigkeit und Änderung der Weifslichkeit des Strahlengangs erhalten wurden, bestätigen ebenfalls, dafs bei abnehmender Formerkennbarkeit — in Rot — die Geschwindigkeit zu wachsen scheint.

Wir wollen nun mit etwas abgeänderter Apparatur und

zwei neuen Mustern die Untersuchungen über die scheinbare Geschwindigkeit im Hellen und bei gedämpftem Licht, sowie in gleich weifslicher roter und blauer Beleuchtung noch einmal anstellen.

An Stelle der Kymographiontrommel wurde der schon früher als Geschwindigkeitsmesser benutzte Apparat verwandt. Auf dem sich langsamer drehenden Rade desselben wurde eine Scheibe befestigt, die eine Zeichnung trug, und zwar wurden zwei solcher Muster verwandt (s. Fig. 10 u. 11). Die Scheibe drehte sich um eine horizontale Achse hinter einem Ausschnitt von 7×16 mm, der sich in einem schwarzen Schirme befand. Zur Geschwindigkeitsmessung war, für die Vp. unsichtbar, an

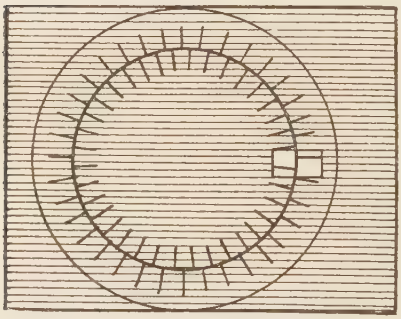

Fig. 10

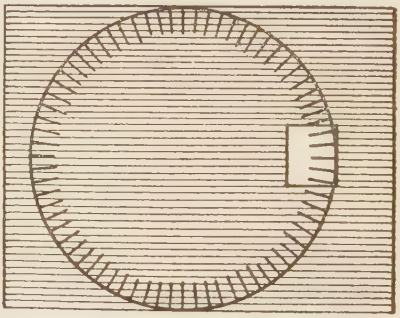

Fig. 11

der Scheibe ein kleiner Zeiger angebracht. Gemessen wurde stets die Zeit, die bei 10 Umdrehungen der Scheibe verstrich. Die Einstellung erfolgte wieder auf scheinbar gleiche Geschwindigkeit im Rot und Blau sowie im ungedämpften und gedämpften Licht, ganz wie im vorigen Versuch. Die Resultate geben Tabelle 23 und Tabelle 24.

Man ersieht daraus wiederum, dafs die scheinbare Geschwindigkeit im Blau wesentlich gröfser ist als im Rot, und dafs in der Dämmerung bzw. bei herabgesetzter Beleuchtung die scheinbare Geschwindigkeit gröfser ist als im Hellen oder in ungedämpfter Beleuchtung, wobei die Vpn. besonders über das grofse Ausmafs des letzteren Phänomens sehr erstaunt waren.

Wir wenden uns nun zur Beschreibung der Versuche über scheinbare Geschwindigkeit im direkten und seitlichen Sehen.

Tabelle 23

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad/Sek.					
	in Rot	in Blau	Abstand cm	in ungedämpfter Beleuchtung	in gedämpfter Beleuchtung	Abstand cm
Frl. Bra.	54,8	52,4	60	82,1	51,2	50
Frl. Ru.	53,7	47,7	30	74,0	53,8	50
Ste.	60,0	48,6	30	71,1	48,0	50
Nol.	52,1	52,1	30	75,6	52,1	50
Frl. War.	47,1	44,6	30	46,1	43,2	50
Web.	41,2	36,7	25	43,7	38,7	25
Frl. Mül.	36,8	35,4	25	38,4	30,5	20
Frl. Per.	45,9	33,6	50	43,5	38,5	60
Gru.	43,6	38,6	40	38,8	34,0	40
Frl. Ket.	41,1	34,7	20	48,0	39,9	20
Jsr.	39,8	39,8	30	46,7	30,1	50
Rit.	41,8	28,6	50	59,4	38,7	50
Umb.	—	—	—	51,1	47,4	20

Tabelle 24

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad/Sek.					
	in Rot	in Blau	Abstand cm	in ungedämpfter Beleuchtung	in gedämpfter Beleuchtung	Abstand cm
Frl. Bra.	60,6	54,0	60	71,7	54,0	50
Frl. Ru.	57,3	49,5	50	85,7	54,9	50
Ste.	50,9	46,3	50	62,0	48,4	50
Nol.	47,8	43,6	30	70,5	49,5	50
Frl. War.	46,7	44,5	50	53,7	46,2	50
Web.	37,1	36,7	50	59,2	43,6	50
Frl. Mül.	36,8	36,7	50	55,2	38,4	50
Frl. Per.	35,8	34,9	70	52,4	43,5	70
Gru.	36,4	33,7	80	39,9	37,6	40
Frl. Ket.	41,9	41,5	40	47,7	43,5	70
Jsr.	39,8	39,8	60	51,6	39,8	50
Rit.	39,7	39,4	80	60,8	38,6	50
Umb.	—	—	—	73,7	51,4	50

Auch hierbei wird die Besprechung der Literatur unten nachgeholt werden.

Die Versuchsanordnungen blieben im wesentlichen dieselben wie in den drei letzten Reihen, nur legten wir das Kymographion jetzt so, daſs die Rotationsachse horizontal war. Der Ausschnitt wurde ebenfalls um 90° gedreht, so daſs er die Gestalt eines liegenden Rechtecks hatte. Der Fixationspunkt befand sich 6 cm oberhalb des oberen Randes des Ausschnittes; die Vp. saſs 60 cm von der Trommel entfernt. Auf der Trommel ist noch das Schuppenmuster angebracht, das sich hinter dem Ausschnitt von oben nach unten vorbeibewegt.

Auch die beiden in Tabelle 23 und 24 zusammengefaſsten Versuche, die im ungedämpften und gedämpften, sowie im roten und blauen Licht angestellt worden waren, wurden nun im direkten und seitlichen Sehen an denselben beiden Mustern durchgeführt. Der Fixationspunkt lag 5 cm über dem oberen Rande des Ausschnittes, hinter dem die vorbeibewegten Zeichnungen verschwanden. Er hatte die Gestalt eines kleinen schwarzen Kreuzes auf weiſsem Grunde. Die Entfernung der Vp. betrug 60 cm; die übrige Anordnung blieb unverändert.

Diese drei Versuche wurden bei jeder Vp. zwecks Konstanthaltung aller übrigen Bedingungen in einer Sitzung ausgeführt. Wir lieſsen zunächst unter Fixation eines Punktes des oberen Randes des Ausschnittes direkt beobachten. Dann folgte die Beobachtung im indirekten Sehen. Die Vp. fixierte das Zeichen und merkte sich den hierbei auftretenden Bewegungseindruck. Schlieſslich stellten wir dann im direkten Sehen (bei Fixation eines Punktes des oberen Ausschnittsrandes) auf die im indirekten Sehen vorhanden gewesene scheinbare Geschwindigkeit ein. Die Messungen wurden mit Hilfe des Regulierwiderstandes, an dem jede Einstellung wiederhergestellt werden konnte, mehrmals durchgeführt.

Die Vorlagen (Fig. 7, 10, 11) wurden so gewählt, daſs in dieser Reihenfolge ihre „Auflösbarkeit“ für das Formensehen zunimmt, d. h. sie werden in dieser Reihenfolge zunehmend einfacher und in ihrer Struktur besser erkennbar. Die Ergebnisse finden sich in den Tabellen 25, 26, 27. Die Untersuchungen gelten, wie man sieht, für sehr verschiedene Ge-

schwindigkeiten. Die Messungen wurden mehrfach wiederholt. Sämtliche Zahlen verstehen sich in Grad.

Tabelle 25

Beobachtungsobjekt: Muster Fig. 7

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad/Sek. bei	
	indirekter Betrachtung	direkter Betrachtung
Rit.	14,0	23,2
Met.	14,3	18,7
Hahn	10,7	17,1
Jam.	13,1	16,1
Ste.	13,3	16,6
Web.	9,5	16,8
Köh.	6,8	9,5
Frl. War.	15,9	18,4
Frl. Bec.	10,7	11,6
Frl. Ket.	12,3	14,7
v. Ov.	13,4	13,8

Es ergibt sich, dafs die Geschwindigkeit im indirekten Sehen rascher erscheint als die objektiv gleiche Geschwindigkeit im direkten Sehen.

Fassen wir das Ergebnis der Tabellen 25—27 zusammen, so ist es dies, dafs dieselbe objektive Geschwindigkeit bei allen drei Mustern in der weitaus gröfsten Zahl der Fälle im indirekten Sehen gröfser zu sein scheint als im direkten Sehen.

Weiter sieht man, dafs in Tabelle 25 gar keine Abweichung hiervon auftritt, in Tabelle 26 deren drei und in Tabelle 27 deren vier, worauf wir unten noch näher eingehen werden. Jedenfalls sieht man schon jetzt, dafs die Abweichungen mit wachsender Auflösbarkeit des vorübergleitenden Musters zunehmen.

Betrachten wir die in den Tabellen 22—27 mitgeteilten 9 Versuchsreihen noch einmal zusammen, so ergibt sich, dafs wir jedesmal bei blauer Beleuchtung, im seitlichen Sehen und bei gedämpftem Licht eine raschere scheinbare Geschwindigkeit erhielten

als bei roter Beleuchtung, im direkten Sehen und bei ungedämpftem Licht.

Tabelle 26

Beobachtungsobjekt: Muster Fig. 10

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad bei indirekter Betrachtung	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad bei direkter Betrachtung	Bemerkungen
Rit.	74,5	96,2	bei objektiv gleicher Geschwindigkeit im indirekten Sehen scheinbar raschere Geschwindigkeit
Met.	41,7	52,6	dgl.
Hah.	53,8	65,2	dgl., wenn keine einzelnen Striche erkennbar sind
Jam.	47,2	72,7	dgl.
Ste.	33,5	59,9	dgl.
Web.	32,4	41,2	dgl.
Köh.	37,4	53,1	dgl.
Wil.	67,1	68,6	dgl.
Frl. Bec.	40,9	29,7	bei objektiv gleicher Geschwindigkeit im indirekten Sehen scheinbar langsamer, wenn einzelne Striche erkennbar sind; sonst, wenn keine Striche erkennbar sind, rascher
„	55,9	66,0	
Frl. Ket.	31,3	37,5	bei objektiv gleicher Geschwindigkeit im indirekten Sehen scheinbar raschere Geschwindigkeit
Frl. Bra.	63,0	79,8	dgl.
v. Ov.	56,9	61,5	dgl.
Frl. Ru.	90,6	80,1	stets einzelne Striche sichtbar, daher im allgemeinen im indirekten Sehen langsamer als direkt bei objektiv gleicher Geschwindigkeit
„	14,0	14,0	

Es gibt eine Reihe von Tatsachen, die im Widerspruch zu unseren Ergebnissen zu stehen scheinen und auf die wir daher jetzt eingehen wollen. So mufs im indirekten Sehen nach Aubert[1] die Winkelgeschwindigkeit bewegter Objekte

[1] Aubert, Die Bewegungsempfindung II. *Pflüg. Arch.* **40**.

Tabelle 27

Beobachtungsobjekt: Muster Fig. 11

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad bei indirekter Betrachtung	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad bei direkter Betrachtung	Bemerkungen Bei objektiv gleicher Geschwindigkeit im indirekt. Sehen anscheinend
Rit.	44,6	34,1	bei langsamem Tempo indirekt langsamer als direkt
„	68,8	68,8	bei raschem Tempo indirekt gleich direkt
Met.	60,4	72,0	indirekt rascher
Hah.	49,3	38,8	bei langsamem Tempo indirekt langsamer als direkt
„	78,2	78,2	bei raschem Tempo indirekt gleich direkt
Jam.	71,1	98,0	indirekt stets rascher
„	37,3	46,4	
Ste.	42,7	62,9	„ „ „
Web.	34,6	40,0	„ „ „
Köh.	35,3	58,8	„ „ „
Frl. War.	32,8	35,7	„ „ „
Wil.	35,2	33,9	bei langsamem Tempo indirekt langsamer als direkt
„	61,4	62,0	bei raschem Tempo indirekt etwas rascher als direkt
Frl. Bec.	34,2	39,8	indirekt rascher
Frl. Ket.	33,2	41,7	„ „
v. Ove.	64,7	65,4	„ „
Frl. Bra.	56,5	58,5	„ „
Frl. Ru.	43,8	33,7	bei langsamem Tempo indirekt langsamer als direkt
„ „	72,8	72,8	bei raschem Tempo indirekt gleich direkt

gröfser sein als im direkten, damit die Bewegung eben wahrgenommen werde. Er gibt dafür folgende Tabelle 28.

Auch Czermak[1] gibt ein hierhergehöriges Phänomen an, das auftritt, wenn man den Sekundenzeiger einer Taschenuhr einmal im direkten Sehen und einmal indirekt, etwa unter Fixation der Zwölf, beobachtet. Der Zeiger scheint dann im

[1] J. Czermak, Ideen zur Lehre vom Zeitsinn. Moleschotts Untersuchungen V, 1885.

indirekten Sehen ganz wesentlich langsamer zu gehen als bei direkter Betrachtung; ja, auf Augenblicke scheint er sogar stillzustehen. v. Fleischl[1] hat diesen Versuch nachgemacht und bemerkt dazu, dafs die Erscheinung sicher nicht daher rühre, dafs man im direkten Sehen das Zifferblatt des Sekundenzeigers mit den einzelnen Teilstrichen, über die der Zeiger hinweggleitet, genauer sieht.

Tabelle 28

(nach Aubert)

Winkelabstand v. d. Fovea	Kleinste wahrnehmbare Winkelgeschwindigkeit	Winkelabstand v. d. Fovea	Kleinste wahrnehmbare Winkelgeschwindigkeit
15′	54″		
1° 15′	1′45″	7°	6′45″—8′45″
2° 15′	2′ 8″	8°	9′—13′
3° 15′	3′ —5′	9°	13′—18′
5° 10′	5′30″—6′		

In ähnlicher Art wie v. Fleischl haben wir diesen Versuch wiederholt. Eine Scheibe von 25 cm Durchmesser wurde an einem Stativ befestigt. Durch die Mitte ragte die langsam rotierende Achse des vorerwähnten Geschwindigkeitsmessers. Diese trug eine Schraubenmutter, an der ein $1^1/_2$ mm dünner ca. 15 cm langer Streifen schwarzen Papiers wie ein Sekundenzeiger angeklebt war. Die Anordnung wurde durch einen Motor mit 0—40 Volt Spannung in Betrieb gesetzt. Durch einen Widerstand war die Geschwindigkeit innerhalb sehr weiter Grenzen zu regulieren. Die Messung der Geschwindigkeit geschah durch Messung der Zeit, in der das 104 mal rascher laufende Rad des Geschwindigkeitsmessers 10 Umdrehungen ausgeführt hatte. Die Geschwindigkeit wurde dann auf die Winkelgeschwindigkeit des Zeigers umgerechnet. Die Vp. safs 3 m von der Scheibe entfernt.

Der Versuch wurde nun nicht im direkten und seitlichen Sehen, sondern bei ungedämpfter und gedämpfter, sowie bei roter und blauer Beleuchtung ausgeführt. Die Entfernung

[1] v. Fleischl, Physiol.-optische Notizen II, *Wiener Akad., Math.-naturw. Abt.* 86, 1882, S. 22f.

der Vp. von der Scheibe war so gewählt, dafs der Vp. der Zeiger im blauen Licht (und ebenso bei herabgesetzter Beleuchtung) recht undeutlich erscheinen mufste, während er bei roter (und ebenso bei ungedämpfter) Beleuchtung deutlich gesehen wurde. Die Lampen standen rechts und links, etwa 50 cm von der Mittellinie und 1 m von der Scheibe entfernt. Es folgt die Tabelle, aus der man ersieht, dafs sich hier ganz entsprechende Ergebnisse zeigten, wie sie Czermak und v. Fleischl beim Übergang vom direkten zum indirekten Sehen erhalten haben.

Tabelle 29

Vp.	Scheinbar gleiche Geschwindigkeit bei objektiver Winkelgeschwindigkeit in Grad/Sek.			
	in ungedämpftem Licht	in gedämpftem Licht	in Rot	in Blau
Nol.	4,3	9,6	6,4	10,1
Ste.	1,9	2,7	2,7	3,9
Sta.	5,9	4,1	4,5	7,5
Met.	6,4	8,2	5,2	6,4
Frl. Ket.	5,—	9,6	2,7	14,4
Frl. Ap.	3,8	10,1	3,9	9,1
Gru.	4,7	8,2	4,6	5,9
Jam.	7,5	13,3	6,1	10,1
Möc.	5,9	8,2	5,4	6,4
Umb.	9,1	19,2	5,2	6,9
Nie.	5,9	10,8	5,—	8,2
Pet.	4,9	10,8	5,7	5,9

Die Einstellung erfolgte wieder bei scheinbar gleicher Helligkeit (Weifslichkeit) des Rot und Blau. Die Helligkeitsgleichung wurde auf der Scheibe durch unmittelbar abwechselnde rote und blaue Beleuchtung festgelegt. Die Abschwächung des Strahlenganges erfolgte nur durch den Dunkelschalter und zwar bei der roten Beleuchtung. Die Untersuchung wurde so ausgeführt, dafs der Vp. eine bestimmte Geschwindigkeit bei ungedämpfter Beleuchtung oder im Hellen dargeboten und dann das Licht gedämpft wurde. Die Vp. hatte anzugeben, in welchem der beiden Fälle die Geschwindig-

keit kleiner zu sein schien. Das trat stets in der herabgesetzten Beleuchtung ein. Bei dieser Beleuchtung wurde dann so eingestellt, daſs die Geschwindigkeit des Zeigers ebenso rasch erschien wie im Hellen bzw. bei ungedämpftem Licht.

Bei rotem und blauem Licht verliefen die Versuche genau so, wenn man in Obigem für „ungedämpfte Beleuchtung“ „rotes Licht“ und für „gedämpfte Beleuchtung“ „blaues Licht“ einsetzt.

Es scheint nun folgender Widerspruch zu bestehen: Bei den gegenwärtigen Versuchen findet im ungedämpften, im roten Licht und im direkten Sehen eine Bevorzugung des Bewegungssehens statt; im indirekten Sehen, im blauen und gedämpften Licht haben wir umgekehrt eine gewisse Benachteiligung festzustellen. — Bei den früheren Versuchen hatten wir die entgegengesetzte Erscheinung.

Eine Handhabe zur Aufklärung gibt nun der folgende Versuch, den wir zum Schlusse noch durchführen. Sein Ausfall steht mit dem zuletzt erwähnten Versuch in Einklang. Der Bewegungseindruck beruht bei ihm wesentlich auf der Mitwirkung des Formensehens. Wir boten ein möglichst einfaches Objekt dar und suchten die Schwelle für das Auftreten des Bewegungseindrucks zu bestimmen, wenn die Bewegung des Objekts von einer äuſserst langsamen Geschwindigkeit ausgehend allmählich gesteigert wurde. Entsprechend suchten wir die Schwelle für das Verschwinden des Bewegungseindrucks zu bestimmen, indem wir ausgehend von einer übermerklichen Bewegung die Geschwindigkeit derselben verringerten. Wird die Bewegung von untermerklicher Geschwindigkeit ausgehend gesteigert, so tritt eine Phase ein, in der man den Eindruck hat, daſs immer durch Ruhepausen voneinander getrennte „Rucke“ auftreten, und erst bei noch weiterer Steigerung der Geschwindigkeit stellt sich ein kontinuierlicher Bewegungseindruck ein. Entsprechend geht bei Herabsetzung der Geschwindigkeit der übermerkliche Bewegungseindruck in den der Ruhe über durch ein solches Stadium der „Rucke“. Es wird darum diese Phase als Kriterium der Bewegungsschwelle aufgefaſst und auf das Auftreten bzw. Verschwinden der Bewegungsrucke eingestellt.

Daſs das Eintreten der Rucke nicht durch Augenbewegungen hervorgerufen wird, dürfte wohl daraus hervorgehen, daſs man den dargebotenen Ausschnitt des Schirmes, hinter dem sich die Bewegung der Scheibe vollzog, aus $^1/_2$ m Entfernung, wo sich die Vp. befand, bequem übersehen konnte. Man kann aber daran denken, — und das ist die wahrscheinlichste Annahme —, daſs hier Orts- und Bewegungswahrnehmung im Wettstreit stehen; denn in der Tat ist es eine gut bewiesene Anschauung, daſs eine Bewegungsempfindung etwas wesentlich anderes ist als die Wahrnehmung eines Punktes und die Feststellung, daſs er sich zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Stellen befindet. Die Bewegungsempfindung ist etwas unmittelbar Gegebenes, nicht erst aus dem Ortswechsel Erschlossenes.

Die Anordnung war wieder ähnlich wie in den Versuchen zu Tabelle 26 und 27. Zwei Projektionslampen stehen schräg rechts und links hinter der Vp. Blau kann durch den Episkotister abgeschwächt werden, Rot durch den Dunkelschalter. Die Lampenspannung beträgt konstant 104 Volt. Die Vp. sitzt im Abstand von 50 cm vor einem weiſsen Schirm mit kreisförmigem Ausschnitt, dessen Radius 15 mm beträgt. Ein weiſser Schirm wird gewählt wegen der in diesem Falle besseren Sichtbarkeit der Ränder des Ausschnitts. Hinter dem Ausschnitt rotiert eine Scheibe von 20 cm Durchmesser, auf der sich längs des Randes im gleichen Abstand von 3,5 cm 12 Punkte von je 4 mm Durchmesser befinden. Da stets nur ein Punkt sichtbar ist, gelangt ein ganz einfaches, optisch aufs allerleichteste auflösbares Muster zur Verwendung (Fig. 12). Die Scheibe befindet sich wieder auf dem Zahnradgetriebe. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt an dem rascher rotierenden Rade des Getriebes.

Die Beobachtung der Schwellengeschwindigkeit erfolgte

1. in ungedämpftem und gedämpftem Licht wie früher,
2. bei roter und blauer Beleuchtung unter Zugrundelegung von zwei verschiedenen Weiſslichkeitsungleichungen der Art, daſs „Rot eben etwas dunkler als Blau“ erschien. Bei der ersten Ungleichung waren die Scheiben des Episkotisters nicht gegeneinander verschoben, bei der zweiten Ungleichung

waren sie um 15° gegenseitig verschoben. Bei der ersten Ungleichung waren also beide Lichter um einen gewissen Betrag weifslicher.

3. Bei direkter und indirekter Betrachtung. Dazu wurde ein 10 cm vom Mittelpunkt des Kreisausschnitts gelegener Punkt fixiert.

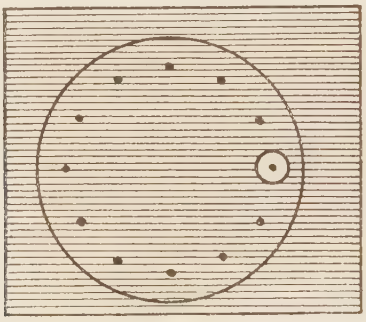

Fig. 12

Sämtliche Schwellenwerte wurden sowohl bei wachsender wie bei abnehmender Geschwindigkeit festgestellt. Es folgen die Ergebnisse in den Tabellen 30—32.

Tabelle 30

Vp.	Schwellengeschwindigkeit bei ungedämpftem Licht		gedämpftem Licht		stärker gedämpftem Licht	
	zu-	ab-	zu-	ab-	zu-	ab-
	abnehmender Geschwindigkeit in Grad/Sek.					
Köh.	4,4	4,7	7,7	5,6	7,7	7,9
Frl. War.	2,2	2,09	4,7	4,8	7,0	6,6
Ste.	2,6	2,4	10,0	9,8	11,5	11,4
Jam.	3,5	3,8	5,15	5,10	9,8	9,9
Frl. Ket.	2,04	1,77	4,14	2,80	5,2	4,7
Gru.	3,2	2,9	10,6	9,4	9,8	9,5
Web.	2,92	2,3	9,4	8,9	24,9	21,3
Frl. Gie.	2,07	1,4	3,8	2,7	—	—
Met.	4,4	3,8	4,3	8,4	10,0	8,7
Frl. Per.	6,6	3,2	7,8	5,9	12,9	10,8
Feu.	6,43	6,43	8,4	7,6	8,1	7,5

Tabelle 31

Vp.	Schwellengeschwindigkeit im zentralen Sehen und peripheren			
	zu-	ab-	zu-	ab-
	nehmender Geschwindigkeit in Grad/Sek.			
Sta.	0,76	0,93	8,23	9,54
Frl. War.	3,38	2,02	8,84	8,49
Ste.	2,63	2,35	7,87	7,62
Jam.	3,69	3,87	9,57	9,30
Frl. Ket.	3,43	4,09	5,70	4,39
Gru.	6,33	5,99	9,30	9,70
Web.	2,49	2,21	7,15	7,15
Frl. Ap.	2,86	3,03	10,50	11,95
Mül.	6,45	3,74	8,30	7,10
Frl. Gie.	1,98	1,42	7,01	7,54
Met.	4,32	3,85	7,18	6,74
Frl. Per.	2,88	2,10	7,18	5,31
Feu.	6,30	6,30	9,38	8,09

Tabelle 32

Vp.	Schwellengeschwindigkeit im (um 15°) gedämpften							
	Blau		Rot		Blau		Rot	
	Zu-	Ab-	Zu-	Ab-	Zu-	Ab-	Zu-	Ab-
	nehmende Geschwindigkeit in Grad/Sek.							
Frl. War.	1,99	1,58	4,54	3,72	1,98	1,84	4,90	4,80
Ste.	8,79	9,98	5,53	4,68	0,99	1,06	6,43	7,92
Jam.	7,65	8,30	5,95	5,55	ermüdet			
Web.	8,00	8,89	7,42	7,10	9,60	8,88	8,25	8,40
Frl. Ap.	7,54	8,47	7,13	5,62	7,47	9,40	5,04	7,40
Gru.	10,16	9,75	9,50	8,70	11,72	10,20	9,50	8,10
Gie.	5,50	3,77	3,95	2,92	4,83	4,45	4,30	2,47
Met.	8,10	7,02	5,78	5,85	8,70	7,92	5,35	4,26
Frl. Per.	4,15	7,32	3,42	5,14	4,52	6,08	3,06	4,18
Feu.	4,21	8,82	7,00	14,75	3,63	7,17	4,47	4,98

Aus den Tabellen 30—32 ergibt sich, dafs die sogenannte Schwellengeschwindigkeit im ungedämpf-

ten, im roten Licht und bei direkter (zentraler) Betrachtung des Musters ganz eindeutig niedriger ist als bei gedämpftem, bei blauem Licht und bei peripherer Betrachtung. Es kommt also wieder in den drei erstgenannten Fällen leichter zu einem Bewegungseindruck und wir befinden uns wieder in einem scheinbaren Gegensatz zu unseren in den Tabellen 22—27 zusammengefafsten Befunden.

Und doch stehen auch diese Ergebnisse mit unserer eingangs gestützten Arbeitshypothese in gutem Einklang, wonach die Helligkeitsverteilung des Purkinjeschen Phänomens auf einer stärkeren Einschaltung primordialer Schichten beruht.

Wir haben also:

A. bei Einschaltung primordialen Sehens

1. Begünstigung der Helligkeit der kurzwelligen Lichter.
2. Begünstigung des Bewegungssehens als der dieser Schicht besonders eigentümlichen Form der räumlichen Wahrnehmung.

B. bei Einschaltung höherer Schichten des Sehens

1. Begünstigung der Helligkeit der langwelligen Lichter.
2. Begünstigung des Formensehens als der dieser Schicht besonders eigentümlichen Form der räumlichen Wahrnehmung.

Die erstgenannten Punkte (1) gelten nach unserer Arbeitshypothese;

die letztgenannten Punkte (2) gelten nach allgemein herrschender, gut gestützter Auffassung.

Nach den angestellten Versuchen setzt sich die dem primordialen Sehen besonders eigentümliche Art räumlicher Wahrnehmung, das Bewegungssehen, leicht durch

1. im blauen Licht im Vergleich zum roten Licht (1a),
2. im seitlichen Sehen im Vergleich zum direkten Sehen (2a),
3. bei gedämpftem Licht im Vergleich zum ungedämpften Licht (3a).

Umgekehrt setzt sich die dem höheren Sehen besonders eigentümliche Art räumlicher Wahrnehmung, das Formensehen, leicht durch

1. im roten Licht im Vergleich zum blauen Licht (1a),
2. im direkten Sehen im Vergleich zum seitlichen Sehen (2a),
3. im ungedämpften Licht im Vergleich zum gedämpften Licht (3a).

Es ergibt sich auch von hier aus, dafs sich im blauen Licht das primordiale Sehen stärker durchsetzt als im roten Licht, und dafs sich im roten Licht die höheren Schichten stärker durchsetzen als im blauen Licht. Es steht dies im Einklang mit der eingangs auf Grund früherer Untersuchungen (Broer und Jaensch) aufgestellten Arbeitshypothese, dafs das Purkinjesche Phänomen auf einer stärkeren Einschaltung primordialer Funktionsschichten beruht; denn auch im Purkinjeschen Phänomen haben wir ja ein stärkeres Hervortreten des kurzwelligen Lichtes.

Nach den grundlegenden Versuchen von J. Czermak und S. Exner gilt es als sicher, dafs die Bewegungswahrnehmung von der Ortswahrnehmung zu unterscheiden ist. Dieser Satz ist nur so zu verstehen, dafs die Bewegungswahrnehmung nicht nur in sukzessiver Ortswahrnehmung besteht, sich in ihr nicht etwa erschöpft. Irrig jedoch wäre es, diesen Satz so aufzufassen, als ob die Orts- und Formenwahrnehmung nicht mehr oder weniger weitgehend beim Bewegungssehen mitwirken könne. Diese Mitwirkung der Orts- und Formenwahrnehmung wird nun um so gröfser sein, je leichter „auflösbar" das bewegte Objekt für das Sehen ist. Denn wenn das Objekt „auflösbar" ist, so bedeutet das eben, dafs wir seine Formen und die absoluten wie relativen Ortsbeziehungen seiner Teilinhalte deutlich erfassen können. Umgekehrt wird das eigentliche Bewegungssehen ins Übergewicht über das Formensehen kommen, wenn die Auflösbarkeit sehr gering, d. h. wenn wir die absoluten und relativen Ortswerte seiner Teilinhalte unter den besonderen Versuchsbedingungen nicht klar auffassen können. Wir werden also von vornherein erwarten können, dafs Versuche über das

Bewegungssehen mit gut und schlecht auflösbaren Objekten verschieden ausfallen werden.

Damit stehen die Ergebnisse obiger Versuche im Einklang. Bei den Versuchen mit schlecht auflösbaren Objekten wirken steigernd auf den Bewegungsgeschwindigkeitseindruck alle die Faktoren, die die Mitwirkung des primordialen Sehens begünstigen. Umgekehrt wirken bei den Versuchen mit gut auflösbaren Objekten schwächend auf den Bewegungsgeschwindigkeitseindruck alle die Faktoren, die die Mitwirkung der primordialen Schichten des Sehens begünstigen.

Dafs hier auch individuelle Differenzen vorkommen, dafs also das Formensehen bei verschiedenen Vpn. unter sonst gleichen Versuchsbedingungen in verschiedenem Ausmafs beim Bewegungseindruck mitwirkt, mufs als selbstverständlich bezeichnet werden in Anbetracht der individuellen Verschiedenheit der Sehschärfe und des Kontrastes, welche beiden Faktoren ja mit zu den Voraussetzungen und Grundlagen des Formensehens gehören. Hierdurch werden auch die in Tabelle 25 und 26 vereinzelt vorkommenden Ausnahmen verständlich.

Man sieht daraus, wie verwickelt und in ihrer näheren Erscheinungsweise von den genaueren Versuchsbedingungen abhängig die Verhältnisse des Bewegungssehens sind, eine Anschauung, die auch von Benussi[1] in seinen Arbeiten vertreten wird und sich auch in den konstitutionspsychologischen Untersuchungen des hiesigen Instituts wiederholt aufgedrängt hat.[2]

Schliefslich sei noch ein Versuch kurz erwähnt, den wir zur Klärung der — bei Betrachtung der scheinbaren Exkursion einer Bewegung — im gedämpften Licht, in blauer Beleuchtung und im seitlichen Sehen vorliegenden Verhältnisse anstellten. Im seitlichen Sehen fand ja bekanntlich S. Exner[3] bei objektiv gleicher Exkursion eine scheinbar

[1] V. Benussi, Über Scheinbewegungskombinationen. *Arch. f. d. ges. Psychol.* 37, 1918.

[2] Vgl. hierüber besonders eine im hiesigen Institut durchgeführte, noch unveröffentlichte Untersuchung von H. Schenk.

[3] S. Exner, Sehen von Bewegungen. *Wiener Akad.* Abt. 3, 72, 1895.

gröfsere Exkursion als im direkten Sehen. Nach den vorigen Untersuchungen lag es nun nahe, zuzusehen, ob sich die Exkursionsweite der Bewegungen entsprechend verhielt beim Übergang vom ungedämpften zum gedämpften und vom roten zum blauen Licht. Einige Versuche, die wir über diese Frage anstellten, verliefen bislang ergebnislos. Im Interesse unserer Arbeitshypothese wäre es jedoch lohnend, diese Verhältnisse weiter zu klären.

8. Kapitel

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse und Deutung

Die Arbeit von Broer und Jaensch hatte zur Aufstellung der Arbeitshypothese geführt, dafs im Purkinjeschen Phänomen eine Einschaltung primordialer Funktionsschichten des Sehens vorliege. Diese Hypothese wird in vorliegender Untersuchung weiter verfolgt und unter folgenden Gesichtspunkten nachgeprüft:

1. Auf verschiedenen Gebieten der menschlichen Psychophysiologie und Psychologie setzt sich zunehmend die Anschauung durch, dafs bei irgendwie bedingtem funktionellem oder organischem Abbau der höheren Schichten die entwicklungsmäfsig primordialen Funktionsschichten wieder stärker in Wirksamkeit treten; das ist unter anderem auch durch hiesige Untersuchungen gezeigt worden, die ergaben, dafs primordiale Funktionsschichten infolge starker körperlicher Ermüdung (sportlicher Leistung) wieder aktiviert werden.

Unter denselben Bedingungen — nämlich vor und nach starker körperlicher Ermüdung (sportlicher Leistung) — werden in dieser Arbeit einige für den Tatsachenkreis des Purkinjeschen Phänomens hauptsächlich in Betracht kommende Fragen des Farbensehens untersucht. Es ergibt sich, dafs unter dem Einflufs stärkerer Ermüdung — also bei funktionellem Abbau — die für das Purkinjesche Phänomen hauptsächlich charakteristischen Erscheinungen auftreten, und zwar bei Ausschlufs der bereits bekannten das Purkinjesche Phänomen hervorrufenden Faktoren (Intensitäts-, Adaptations- und Pupillenänderungen).

Anknüpfend an die Tatsache, dafs Wieland bei verstärkter Kohlensäurespannung des Blutes (bei Erstickungsversuchen)

eine Verengerung der Pupille fand, könnte vielleicht eingewandt werden, die Verschiebung im Sinn des Purkinjeschen Phänomens beruhe darauf, dafs die Pupille infolge körperlicher Ermüdung möglicherweise enger würde und die Lichtintensitäten darum eine Herabsetzung erführen. — Allerdings fand schon Bumke bei durch Nachtwachen Ermüdeten gerade eine Pupillenerweiterung. Da aber immerhin eine durch körperliche Anstrengung verursachte Ermüdung zugleich ähnliche Bedingungen herbeiführt wie die, unter denen Wieland gearbeitet hatte, so mufste diese Fehlerquelle durch besondere Kontrollversuche ausgeschaltet werden. Es zeigte sich, dafs die Pupillenreaktion unter unseren Bedingungen nicht wesentlich anders war wie in den Untersuchungen Bumkes, also nicht als Fehlerquelle in Betracht kam. Das Ergebnis unserer Versuche ist also eine unmittelbare Wirkung der Ermüdung und des dadurch bedingten funktionellen Abbaus. Die eingangs erwähnte These, dafs sich in der Helligkeitsverteilung des Purkinjeschen Phänomens eine Aktivierung einer primordialen Schicht verrate, erfährt hierin ihre Bewährung.

2. In den folgenden Versuchen werden Tatsachen herbeigebracht, aus denen sich zwar, wenn sie allein vorlägen, die These vom Purkinjeschen Phänomen als Ausdruck einer primordialen Funktionsschicht des Sehens nicht begründen liefse, die aber mit dieser These aufs beste im Einklang stehen und von hier aus am ungezwungensten und leichtesten ihre Erklärung finden.

Es entspricht nämlich wiederum der sich durchsetzenden Anschauung über die Schichtenstruktur im zentralen Nervensystem und besonders auch im Gesichtssinn und stützt sich auf viele Analogien aus anderen Gebieten der Psychologie und Physiologie, wenn wir annehmen, dafs auch unter Bedingungen, unter denen für gewöhnlich primordiale Schichten aktiviert sind, an deren Stelle höhere Funktionsschichten treten, sobald Anforderungen gestellt werden, die nur von den höheren und jüngeren Funktionsschichten erfüllt werden können. — In der Tat ergeben weitere Versuche, dafs das Purkinjesche Phänomen eine Abschwächung erfährt, wenn zugleich das Formensehen

beansprucht wird. Verschiedene naheliegende und sich zunächst darbietende Erklärungen — mit Hilfe der verschieden starken Beteiligung des direkten und peripheren Sehens Mitwirkung des Kontrastes, etwaiger Pupillenänderung — werden in Erwägung gezogen und durch besondere Kontrollversuche ausgeschaltet. Es ergibt sich, dafs das Phänomen nicht auf ihnen beruhen kann. Da nun das Formensehen als die für die höheren und jüngeren Funktionsschichten besonders charakteristische Wahrnehmungsfunktion angesehen werden mufs, so steht auch dies Ergebnis mit der eingangs erwähnten These in gutem Einklang. Bei Auftreten von Anforderungen, die nur von höheren Funktionschichten geleistet werden und die daher eine stärkere Einschaltung dieser fordern, tritt auch das Purkinjesche Phänomen — nach unserer Arbeitshypothese ein Zeichen der Einschaltung primordialer Funktionsschichten — zurück.

3. Eine gewisse Ausschaltung erfahren die höheren Funktionsschichten im instantanen und seitlichen Sehen. Dementsprechend tritt auch hier — wie für das seitliche Sehen ja längst bekannt ist — das Purkinjesche Phänomen, vorausgesetzt, dafs die sonstigen Bedingungen zu seinem Auftreten erfüllt sind, verstärkt auf.

4. Nach herrschender Anschauung (S. Exner u. a.) ist die Bewegungswahrnehmung eine primordiale Wahrnehmungsfunktion unseres Sehens gegenüber dem Formensehen. Unter verschiedenen Bedingungen, unter denen das primordiale Sehen stärker hervortritt, tritt auch das Bewegungssehen stärker hervor. Unter anderen Bedingungen, unter denen die höhere Funktionsschicht des Sehens stärker hervortritt, tritt auch das Formensehen stärker hervor und das Bewegungssehen zurück. Das stimmt mit den anderen über das Purkinjesche Phänomen beigebrachten Tatsachen wieder insofern, als auch in dieser Beziehung die Bedingungen, unter denen das Purkinjesche Phänomen auftritt, solche sind, unter denen auch in den anderen Fällen das primordiale Sehen eingeschaltet wird.

Zum Schluſs möchte ich nicht versäumen, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Jaensch, für seine ständige Unterstützung und Hilfsbereitschaft, die er mir in jeder Weise und zu jeder Zeit bewiesen hat, meinen allerherzlichsten Dank auszusprechen. Weiterhin gebührt mein besonderer Dank allen den Damen und Herren, die sich mir für meine Untersuchungen unermüdlich zur Verfügung gestellt und mir in oft wiederholten und schwierigen Versuchen einen groſsen Teil ihrer oft spärlichen Freizeit geopfert haben.

Lebenslauf

Ich, Wilhelm Stallmann, wurde am 15. Juni 1901 als Sohn des Rentners Wilhelm Stallmann zu Goslar am Harz geboren. Von Ostern 1907 bis Michaelis 1918 besuchte ich das dortige Realgymnasium einschliefslich der Vorschule. Ich bestand die Notreifeprüfung und trat Anfang Oktober in den staatlichen Hilfsdienst in einer Maschinenfabrik. Zum Sommersemester 1919 bezog ich die Technische Hochschule zu Hannover. Sommersemester 1920 ging ich nach Göttingen und Sommersemester 1922 nach Marburg, wo ich bis einschliefslich Sommersemester 1923 immatrikuliert war. Am 10. 2. und 20. 6. 1924 legte ich das Staatsexamen in Mathematik, Physik und angewandter Mathematik ab. Im Anfang September 1924 begann ich bei Herrn Prof. Jaensch mit der Doktorarbeit. Am 15. 7. 1925 bestand ich das Rigorosum. Schon vorher, Ostern 1925, trat ich in den preufsischen höheren Schuldienst. Das erste Vorbereitungsjahr verbrachte ich in Göttingen an der Oberrealschule. Das zweite Jahr war ich an der Humboldt-Schule in Hannover-Linden tätig. Ostern 1927 bestand ich die pädagogische Prüfung und ging darauf als Studienassessor nach Emden, wo ich zurzeit am städtischen Oberlyzeum tätig bin.

Meine akademischen Lehrer waren in

Mathematik: Prof. Müller-Hannover, Prof. Runge-Göttingen, Prof. Hensel-Marburg, Prof. Neumann-Marburg, Prof. Fränkel-Marburg, Prof. Landau-Göttingen u. a.

Angewandter Mathematik: Prof. Salkowski-Hannover, Prof. Rodenberg-Hannover, Dr. König-Göttingen, Prof. Runge-Göttingen, Prof. v. Dalwigk-Marburg.

Physik: Prof. Precht-Hannover, Prof. Frank-Göttingen, Prof. Rausch v. Traubenberg-Göttingen, Prof. Herz-Göttingen, Prof. Wiechert-Göttingen, Prof. Schulze-Marburg, Prof. Schäfer-Marburg, Prof. Take-Marburg.

Philosophie: Prof. Nohl-Göttingen, Dr. Kroh-Göttingen, Prof. Hartmann-Marburg, Prof. Jaensch-Marburg.

Ihnen allen möchte ich auch an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. S.